ستيفن هوكينج



تاريخ موجز للزمان

من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء

ترجمة: مصطفى إبراهيم فهمي



ستيفن هوكنيج

تاريخ موجز للزمان

من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء

ترجمة

مصطفى إبراهيم فهمي



ستيفن هوكنيج

تاريخ موجز للزمان

من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء

الكتاب: تاريخ موجز للزمان، من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء
المؤلف: ستيفن هوكنيج
المترجم: د. مصطفى إبراهيم فهمي

عدد الصفحات: 320 صفحة

الترقيم الدولي: 978-977-6483-59-0

رقم الإيداع: 2015/27137

الطبعة الأولى: 2016

الناشر:

دار التنوير للطباعة والنشر

لبنان: بيروت - بئر حسن - سنتر كريستال - الطابق الأول
هاتف وفاكس: 009611843340
بريد إلكتروني: darattanweer@gmail.com
مصر: القاهرة-وسط البلد -19 عبد السلام عارف (البستان سابقًا)-الدور 8-شقة 82
هاتف: 0020223921332
بريد إلكتروني: cairo@dar-altanweer.com
تونس: 24، نهج سعيد أبو بكر - 1001 تونس
هاتف وفاكس: 0021670315690
بريد إلكتروني: tunis@dar-altanweer.com

موقع إلكتروني: www.dar-altanweer.com

الإهداء

هذا الكتاب

مُهدَى إلى جين

مقدمة المترجم

كتاب «تاريخ موجز للزمان» هو بمثابة رحلة لملّاح بارع يجوب آفاقًا عجيبة في علم الكون والفيزياء، مستندًا إلى موهبة علمية فذَّة وسعة أفق خلَّاقة، بحثًا عن الطريق إلى نظرية علمية كبرى توحِّد سائر النظريات.

من الشيِّق أن المؤلف ستفين هوكنيج رجل مُقْعد، ألزمه مرض أعصابه وعضلاته كرسيّه ذا العجلات منذ أن كان في التاسعة والعشرين، وهو لا يستطيع حتى أن يمسك القلم ليكتب، بل لا يستطيع أن ينطق الكلام بوضوح. ومع ذلك فهو يُعَدّ أبرز المنظِّرين في الفيزياء منذ آينشتاين، ويشغل الآن كرسي أستاذ الرياضيات نفسه الذي كان يشغله إسحق نيوتن في كمبردج. وله بحوث علمية رائعة معروفة، أشهرها ما تناول فيه الثقوب السوداء في الفضاء.

وكتابه هذا أول كتاب يؤلِّفه لغير المتخصّصين، وقد أثار ضجة كبرى في الأوساط الثقافية والعلمية. ويتناول فيه الزمان والكون وطبيعتهما. وأي تناول كهذا لا بد أن يؤدي إلى الحديث عن الحركة والفضاء والنجوم والكواكب والمَجَرّات. يستعرض

الكتاب بأبسط أسلوب ممكن مسيرة النظريات الكبرى عن الزمان والكون ابتداءً من أرسطو فجاليليو ونيوتن وآينشتاين. ثم يغوص المؤلف بفكره في أعماق الفضاء في مغامرة فذّة، مهتديًا بالعلم مع الخيال النشط الخلاق، في محاولة لإيجاد خطوط نظرية جديدة توحِّد أهم نظريات القرن العشرين بلا تناقض، وخاصة نظريتَيْ النسبية وميكانيكا الكم. ونظرية موحَّدة كهذه قد تكمن فيها الإجابة عن أسئلة طالما حيَّرت العلماء وما زالت تحيِّرهم. فهل يمكن أن ينكمش الكون مثلًا بدلًا من أن يتمدَّد؟ وهل يرتدّ الزمان وقتها إلى الوراء فيرى البشر موتهم قبل ميلادهم؟ وهل للكون بداية و/ أو نهاية، وكيف تكونان؟ وهل للكون حدود؟ إن آينشتاين قد جعل للمكان - الزمان أربعة أبعاد، فماذا لو كانت للكون أبعاد أكثر، كأن يكون له - مثلًا - أحد عشر بعدًا أو أكثر؟

هذه بعض المسائل التي تناولها الكتاب بأسلوب جليّ ومبسَّط ومثير، ما يشد القارئ طول الوقت، وما جعل النقاد العلميين يصنفونه بأنه كتاب كلاسيكي منذ ظهوره، فهو من علامات الطريق في فلسفة ومنهج العلم، بحيث لا غنى لمثقف عن الاطلاع عليه.

المترجم

د. مصطفى إبراهيم فهمي

شكـر

قرَّرت محاولة تأليف كتاب شعبي عن المكان والزمان بعد أن ألقيت محاضرات ليب Loeb في هارفارد عام 1982. وقبل ذلك، كان ثمَّة عدد كبير من الكتب عن الكون في عهده المبكر وعن الثقوب السوداء، وهي كتب تتراوح بين الجيد جدًا مثل كتاب ستيفن وينبرج (الدقائق الثلاث الأولى)، والسيئ جدًا الذي لن أحدِّده. على أني شعرت أن أيًا منها لم يكن يخاطب حقًا الأسئلة التي أدت بي إلى القيام بالبحث في علم الكونيات ونظرية الكَمّ: من أين أتى الكون؟ كيف ولماذا بدأ؟ هل سيصل إلى نهاية؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف ستكون النهاية؟ هذه الأسئلة تثير اهتمامنا جميعًا. إلا أن العلم الحديث قد بلغ درجة من التقنية بحيث لا يستطيع إلا عدد صغير جدًا من المتخصِّصين التمكن من الرياضيات المستخدَمة في وصفها. على أن الأفكار الأساسية عن أصل ومصير الكون يمكن ذكرها من دون رياضيات، وبشكل يمكن أن يفهمه غير أهل الدراسة العلمية. وهذا هو ما حاولتُ القيام به في هذا الكتاب، والقارئ هو الذي ينبغي أن يحكم إذا ما كنت قد أفلحت في ذلك.

لقد أخبرني البعض بأن كل معادلة أضعها في الكتاب ستقلل المبيعات إلى النصف. ولهذا قرَّرت ألا تكون هناك أيّ معادلات على الإطلاق. على أنّي في النهاية أدخلت «بالفعل» معادلة واحدة هي معادلة آينشتاين الشهيرة $E = Mc^2$، وأرجو ألا يؤدي هذا إلى أن يهرب نصف قرّائي المُحتَمَلين خائفين.

بصرف النظر عمَّا كفاني من سوء الحظ لإصابتي بضمور العضلات بالتليّف الجانبي، أو مرض العصبة الحركية، فإني لمحظوظ من كل وجه آخر تقريبًا. فما تلقيته من عون وسَنَد من زوجتي جين وأطفالي روبرت ولوسي وتيمي، قد مكَّنني من أن أعيش حياة طبيعية إلى حد ما، وأن أكون ناجحًا في عملي. وقد كنت محظوظًا مرة ثانية إذ اخترت الفيزياء النظرية، لأنها كلّها تدور في الذهن. وهكذا فإنّ عجزي لم يكن فيه معوِّق خطير. وزملائي العلميين بلا استثناء قد ساعدوني أعظم مساعدة.

في الطور الأول «الكلاسيكي» من حياتي العملية، كان الزملاء والشركاء الرئيسيون لي هم روجر بنروز، وروبرت جيروتش، وبراندون كارتر، وجورج إليس. وإني لممتنّ لهم لما قدّموه لي من عَوْن، ولما قمنا به معًا من عمل. وقد تجمَّعت حصيلة هذا الطور في مؤلف «بنية المكان – الزمان بالمقياس الكبير». الذي كتبته مع إليس في عام 1973. ولست أنصح قرَّاء هذا الكتاب أن يرجعوا إلى ذلك المؤلَّف للمزيد من المعلومات، فهو مؤلَّف على درجة عالية من التقنية، وغير قابل للقراءة إلى حدٍّ كبير.

وأرجو أن أكون قد تعلَّمت منذ ذلك الوقت كيفية الكتابة بأسلوب أسهل وأكثر قابلية للفهم.

في الطور التالي لعملي، «طور الكَمّ» الذي بدأ في عام 1974، كان شركائي الرئيسيون هم جاري جيبونز، ودون بيج، وجيم هارتل. وإني أدين لهم بالكثير، كما أدين لطلابي الباحثين، الذي منحوني قدرًا عظيمًا من العَوْن، بما لهذه الكلمة من معنيَيْن، جسماني ونظري. ولمَّا كان عليَّ أن ألاحق طلابي فإن ذلك كان فيه حافز عظيم، وقد أدى، في ما آمل، إلى منعي من أن تلازمني رَتابة كئيبة.

هذا وقد تلقيت عونًا كبيرا في هذا الكتاب من بريان هويت، أحد طلابي. وبعد أن كتبت المسوّدة الأولى أصابني التهاب رئوي في عام 1985. وكان لا بد من أن تُجرى لي عملية شَقّ الحنجرة، ما أفقدني القدرة على الكلام، وجعل من شبه المستحيل أن أتصل بالآخرين. وظننت أنني لن أتمكن من إنهاء الكتاب. إلا أن بريان لم يقم بمساعدتي على مراجعته فحسب. وإنما جعلني أيضًا أستخدم برنامج اتصالات يسمَّى «المركز الحي» كان قد منحه لي والت والتز من شركة وردز بلاس، في ستيفيل بكاليفورنيا. وأستطيع بواسطته أن أقوم بقراءة الكتب وأوراق البحث، وأن أتحدث للناس مستخدمًا مخلِّق كلمات منحته لي أيضًا شركة سبيتش بلاس من سنيفيل بكاليفورنيا. لقد تم تركيب المخلِّق وكمبيوتر شخصي صغير على كرسي ذي عجلات بواسطة دافيد

ماسون. وكان في هذا النظام كل الفارق. والحقيقة أني أتصل الآن بالآخرين على نحو أفضل مما كنت أفعله قبل أن أفقد صوتي.

وصلتني اقتراحات عن طريقة تحسين هذا الكتاب من عدد كبير من الأفراد الذين رأوا النسخ الأولية. وقد أرسل لي بالذات بيتر جـوزّاردي، المحرِّر في دار نشر كتب بانتام، صفحات وصفحات من التعليقات والاستفهامات عن نقاط شَعَرَ هو أني لم أفسّرها بما يلائم. ويجب أن أقرّ بأني أصبت بشيء من الضيق عند تلقِّي قائمته الهائلة عن الأمور التي ينبغي تغييرها، على أنه كان على حق تمامًا. وإني لعلى يقين من أن الكتاب أصبح أفضل، نتيجة لأنه وَضَعَ أنفي في التراب.

كما أني ممتنٌّ جدًا لمساعدَيَّ كولن وليامز، ودافيد توماس، وريموند لافلام، ولسكرتيراتي جودي فيلا، وآن رالف، وشيريل بلنجتون، وسو ماسي، ولفريق ممرضاتي. وما كان سيمكن إنجاز أي شيء من هذا دون الدعم المقدَّم لبحثي ولنفقاتي العلاجية التي تكفّل بها كلّ من كلية جونفيل وكايوس، ومجلس البحوث العلمية والهندسية، ومؤسسات ليفرهولم، ومكارثر، ونوفيلد، ورالف سميث. وإني لجدّ ممتنّ لهم جميعًا.

ستيفن هوكنيج

20 أكتوبر 1987

مقدمة الطبعة الأولى

إننا نمضي في حياتنا اليومية ونحن لا نكاد نفهم شيئًا عن العالم. فنحن لا نفكِّر إلا قليلًا في آليات النظام الذي يولِّد ضوء الشمس الذي يجعل الحياة ممكنة، أو في الجاذبية التي تلصقنا بأرض لولا ذلك لكانت سترسلنا لندور ملتفِّين في الفضاء، أو في الذرَّات التي صُنعنا منها ونعتمد اعتمادًا أساسيًا على استقرارها. باستثناء الأطفال (الذين لا يعرفون ما يكفي لمنعهم من أن يسألوا الأسئلة المهمة)، فإن عددًا قليلًا منّا هم الذين ينفقون وقتًا كثيرًا في تساؤل عن السبب في أن الطبيعة هي ما هي عليه، ومن أين أتى الكون، أو هل كان دائمًا هنا؛ وهل يأتي وقت ينساب فيه الزمان إلى الوراء وتسبق النتائج الأسباب؛ أو هل ثمَّة حدود قصوى لما يستطيع البشر أن يعرفوه. بل إن هناك أطفالًا، قد قابلت بعضًا منهم، يريدون معرفة كيف يبدو الثقب الأسود؛ وما هو أصغر جزء من المادة؛ ولماذا نتذكَّر الماضي ولا نعرف المستقبل؛ وإذا كانت هناك فوضى في أول الأمر، فكيف حدث أن هناك الآن نظامًا في ما يظهر؛ ولماذا «يوجد» الكون؟

ما زال الآباء والمدرِّسون في مجتمعنا معتادين على الإجابة

عن معظم هذه الأسئلة بهزّة كتف، أو باستدعاء مفاهيم مطلقة غامضة، والبعض يصيبهم القلق من جراء قضايا كهذه، لأنها تكشف بصورة جد حيوية عن أوجه قصور الفهم البشري.

على أن معظم الفلسفة والعلم قد دفعته تساؤلات من هذا النوع. وثمَّة عدد متزايد من البالغين لديهم الرغبة في إلقاء أسئلة من هذا النوع، وهم أحيانًا يتلقَّوْن بعض إجابات تثير الدهشة. ومع تساوي مسافة البعد بيننا وبين الذَرّات، وبيننا وبين النجوم، فإننا نوسع من آفاق استكشافاتنا لتحتضن معًا ما هو صغير جدًا وما هو كبير جدًا.

في ربيع العام 1974، أي قبل نحو عامين من هبوط مركبة الفضاء الفيكنج على المريخ، كنت أحضر في إنجلترا اجتماعًا تحت رعاية الجمعية الملكية في لندن، لنناقش مسألة طريفة هي البحث عن الحياة خارج الأرض. وأثناء فترة راحة لشرب القهوة لاحظت أن اجتماعًا أكبر بكثير كان منعقدًا في قاعة مجاورة، فدخلتها من باب حب الاستطلاع. وسرعان ما تبيّنت أني كنت أشهد طقسًا عتيقًا؛ حفل تنصيب الزملاء الجدد في الجمعية الملكية، إحدى أقدم المنظمات العلمية على كوكبنا. وكان في الصف الأمامي شاب في كرسي ذي عجلات يوقِّع اسمه ببطء شديد في كتاب يحمل في صفحاته الأولى توقيع إسحق نيوتن. وعندما انتهى في آخر الأمر، ارتجَّ المكان بالتحية له. فقد كان ستيفن هوكنيج أسطورة حتى في ذلك الوقت.

وهوكنيج الآن أستاذ كرسي لوكاس للرياضيات في جامعة كمبردج، وهو منصب كان يشغله نيوتن ذات مرة، وشغله فيما بعد ب. أ. م بيراك، وهما رائدان مشهوران لما هو كبير جدًا وما هو صغير جدًا. وهوكنيج هو خليفتهما الجدير بذلك. هذا الكتاب، وهو أول كتب هوكنيج لغير المتخصّصين، فيه أنواع كثيرة من الفائدة للقارئ غير المتخصّص. وكما أن الكتاب شَيّق بمحتوياته ذات المدى الواسع، فهو شيّق بالقدر نفسه بما يمدّنا به من لمحة عن طريقة عمل عقل المؤلف. وفي هذا الكتاب إشراقات صافية في مجالات الفيزياء، والفلك، والكونيات، والشجاعة.

كارل ساجان
جامعة كورنيل
إيثاكا – نيويورك

مقدمة الطبعة الثانية

لم أكتب مقدمة للطبعة الأولى من «تاريخ موجز للزمان» فقد قام بذلك كارل ساجان. وبدلًا من ذلك كتبت كلمة قصيرة عنوانها «شكر»، نُصحت بأن أقدم فيها الشكر لكل مَن ساعدني. على أن بعض المؤسسات التي وفَّرت لي الدعم لم تسعد كثيرًا بذكرها، لأن هذا أدى إلى زيادة كبيرة في ما قُدِّم لها من طلبات المساعدة.

لا أعتقد أن أحدًا، سواء من الناشرين، أو وكيلي، أو أنا نفسي، قد توقَّع أن ينجح هذا الكتاب على ذلك النحو. ظل الكتاب في قائمة أكثر الكتب مبيعًا لصحيفة «صنداى تايمز» في لندن لمدة 237 أسبوعًا، أي لزمن أطول من أي كتاب آخر (من دون حساب الإنجيل وشكسبير بالطبع). تُرجم الكتاب إلى ما يقرب من أربعين لغة وبيع بمعدل نسخة لكل 750 فردًا من الرجال والنساء والأطفال في العالم. علَّق على ذلك ناثان ميرفولد من شركة مايكروسوفت (وكان في ما سبق يجري عندي أبحاثًا لما بعد الدكتوراه) فقال: «لقد بعت كتبًا عن الفيزياء أكثر مما باعته مادونا عن الجنس». يدل نجاح كتاب «تاريخ موجز للزمان» على أن هناك اهتمامًا واسع النطاق بالأسئلة الكبيرة، مثل: من أين أتينا؟

Twitter: @ketab_n

ولماذا يكون الكون على ما هو عليه؟ انتهزت الفرصة حتى أحدِّث الكتاب وأضمِّنه نتائج جديدة من النظريات والأرصاد التي تم الحصول عليها منذ نُشر الكتاب لأول مرة (في يوم «كذبة أبريل» من عام 1988). ضمَّنت الكتاب فصلًا جديدًا عن الثقوب الدودية والسفر في الزمان. إذ يبدو، إن نظرية آينشتاين عن النسبية العامة تطرح إمكان أننا نستطيع أن نخلِّق ثقوبًا دودية ونحافظ عليها، أنابيب صغيرة تصل بين مناطق مختلفة من المكان – الزمان. إذا كان الأمر هكذا، فإننا ربما سنتمكن من استخدامها للسفر السريع حول المَجَرة أو السفر إلى الوراء في الزمان. نحن بالطبع لم نرَ أي فرد من المستقبل (أم هل رأينا ذلك؟) ولكنني أناقش تفسيرًا ممكنًا لذلك.

أصف أيضًا في الكتاب التقدم الذي تم حديثًا في العثور على «ثنائيات dualities» أو تناظرات بين نظريات فيزياء تبدو مختلفة ظاهريًا. هذه التناظرات فيها دليل قويّ على وجود نظرية كاملة موحّدة للفيزياء، ولكنها تطرح أيضًا أنه قد لا يكون من الممكن التعبير عن هذه النظرية في صيغة أساسية واحدة. ربما يكون علينا بدلًا من ذلك أن نستخدم انعكاسات مختلفة من النظرية الأساسية في المواقف المختلفة. ربما يشبه هذا أننا لا نستطيع أن نمثِّل سطح الأرض فوق خريطة وحيدة، وعلينا أن نستخدم خرائط مختلفة في المناطق المختلفة. سيكون هذا ثورة في نظرتنا لتوحيد قوانين العلم، ولكنه لن يغيِّر من النقطة الأكثر

أهمية: وهي أن الكون محكوم بمجموعة من القوانين التي يمكن للعقل اكتشافها وفهمها.

من ناحية الأرصاد، فإن أكثر التطوُّرات أهمية حتى الآن هو قياس التراوحات في إشعاع خلفية الكون الميكروويفية بواسطة «كوب» (القمر الصناعي لاستكشاف الخلفية الكونية) وغير ذلك من الإسهامات المشابهة. هذه التراوحات هي بَصَمات أصابعِ الخلق، أوجه عدم انتظام دقيق الصغر عند البداية في الكون المبكِّر الذي يكون - في ما عدا ذلك - سلسًا ومتسقًا ويتنامى لاحقًا إلى مجرات، ونجوم، وكل البنى التي نراها حولنا. أشكال هذه البنى تتفق مع التنبؤات التي يطرحها افتراض أن الكون ليست له حدود أو حروف في اتجاه الزمان التخيّلي، إلا أن هناك حاجة إلى أرصاد أكثر لتميّز بين هذا الفروض والتفسيرات الأخرى الممكنة للتراوحات الموجودة في الخلفية. على كلٍّ، ينبغي خلال سنوات قليلة أن نعرف ما إذا كنا نستطيع حقًا أن نؤمن بأننا نعيش في كون مكتفٍ ذاتيًا بالكامل، ليست له بداية وليس له نهاية.

ستيفن هوكينج

(1)

صورتنا عن الكون

ذات مرة ألقى عالم مشهور (يقول البعض إنه برتراند راسل) محاضرة عامة عن علم الفلك. ووصف كيف أن الأرض تدور حول الشمس، وكيف تدور الشمس بدورها حول مركز لمجموعة هائلة من النجوم تسمَّى مجرتنا. وفي نهاية المحاضرة، نهضت سيدة عجوز ضئيلة الحجم في آخر القاعة وقالت: «إن ما تقوله لنا هراء. فالعالم في الحقيقة صفحة مسطحة مستقرة على ظهر سلحفاة هائلة». وابتسم العالِم في تعالٍ قبل أن يجيب: «وما الذي تقف عليه السلحفاة؟». فقالت السيدة العجوز: «إنك لبارع جدًا أيها الشاب، بارع جدًا. على أن الأمر كله سلاحف بطول الطريق إلى أسفل!».

سيجد معظم الناس أن صورة كوننا كبرج لا نهائي من السلاحف صورة مضحكة إلى حد ما، ولكن لماذا نعتقد أن ما نعرفه هو الأفضل؟ ما الذي نعرفه عن الكون، من أين أتى الكون، وإلى أين يذهب؟ هل للكون بداية. وإذا كانت له، فما الذي حدث «قبل» ذلك؟ ما طبيعة الزمان؟ هل سيصل قط إلى نهاية؟ إن

الإنجازات الحديثة في الفيزياء، والتي أصبحت ممكنة - في جزء منها - بواسطة تقنيات جديدة خيالية، تفترض إجابات عن بعض هذه الأسئلة التي ظلَّت قائمة زمنًا طويلًا.

ولعل هذه الإجابات ستبدو في يوم ما واضحة لنا وضوح دوران الأرض حول الشمس أو ربما ستبدو مضحكة مثل برج السلاحف. والزمن وحده (أيًا يكون ذلك) هو الذي سيخبرنا بالقول الفصل.

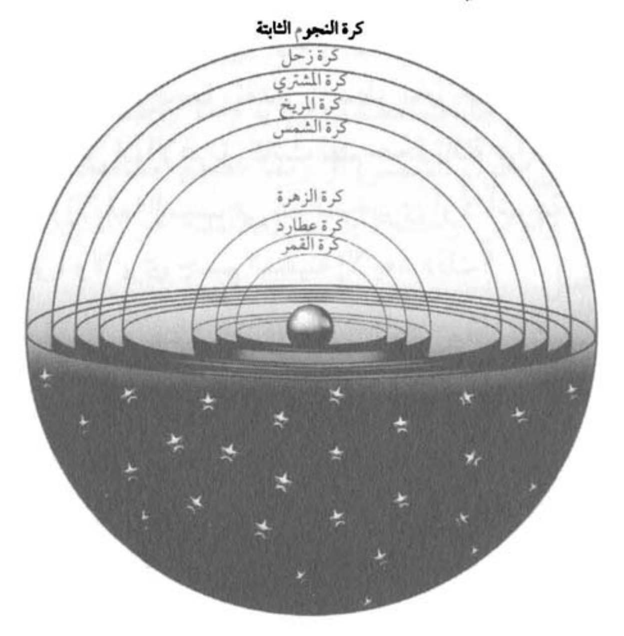
منذ زمن بعيد يرجع إلى عام 340 ق. م. تمكن الفيلسوف الإغريقي أرسطو من أن يطرح في كتابه «عن السماوات» حجّتَيْن قويتَيْن للاعتقاد بأن الأرض كرة مستديرة، أوْلَى من أن تكون صفحة مسطَّحة. فأولًا، كان قد لاحظ أن حالات خسوف القمر يسبِّبها وقوع الأرض بين الشمس والقمر. وظلّ الأرض على القمر يكون دائمًا مستديرًا، وهذا لا يصح إلا إذا كانت الأرض كروية. ولو كانت الأرض قرصًا مسطَّحًا، لكان ظلها مطوَّلًا وإهليلجيًا، إلا إذا كان الخسوف يحدث دائمًا في وقت تكون الشمس فيه تحت مركز القرص مباشرة. وثانيًا، عرف الإغريق من رحلاتهم أن النجم الشمالي يبدو عند النظر إليه في الجنوب أكثر انخفاضًا في السماء عمَّا يبدو في المناطق الشمالية بكثير. (حيث إن النجم الشمالى يقع فوق القطب الشمالي، فإنه يبدو فوق الراصد مباشرة عند القطب الشمالي، ولكنه يبدو لمن يرقبه من خط الاستواء وكأنه يقع عند الأفق بالضبط). بل إن أرسطو عن

طريق اختلاف الوضع الظاهري للنجم الشمالى في مصر واليونان ذكر تقديرًا لطول محيط الأرض هو 400.000 آستاد. وليس من المعروف بالضبط كم يبلغ طول الآستاد، ولكنه قد يكون ما يقرب من 200 ياردة، ما يجعل تقدير أرسطو نحو ضعف الرقم المتفق عليه حاليًا. بل إن الإغريق كانت لهم حجّة ثالثة عن وجوب كروية الأرض، وإلا فما السبب في أن المرء يرى أولًا أشرعة السفينة آتية عبر الأفق، ولا يرى جسم السفينة إلا بعد ذلك؟

كان أرسطو يعتقد أن الأرض ثابتة، وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تتحرَّك في أفلاك دائرية حول الأرض. وكان يؤمن بذلك لأنه أحس، لأسباب صوفية، أن الأرض مركز الكون، وأن الحركة الدائرية هي الكمال الأقصى. وقد طوَّر بطليموس هذه الفكرة في القرن الثاني بعد الميلاد لتصبح نموذجًا كاملًا. فالأرض تقف في المركز، تحيط بها ثماني كرات تحمل القمر والشمس والنجوم والكواكب الخمسة المعروفة وقتها، عطارد والزهرة، والمريخ، والمشترى وزُحَل شكل (1-1). والكواكب نفسها تتحرَّك على دوائر أصغر متصلة بالكرات المختصة بكل كوكب.

وذلك حتى يمكن تفسير ما يرصد في السماء من مساراتها المعقدة نوعًا ما، والكرة الأكبر والأبعد تحمل ما يسمَّى النجوم الثابتة، التي تبقى دائمًا في المواضع نفسها إحداها بالنسبة للأخرى ولكنها تدور معًا عبر السماء. أما ما يقع خارج الدائرة

الأخيرة فلم يُجعل واضحًا قط، على أن من المؤكد أنه لم يكن جزءًا من الكون الذي يمكن للبشر رصده.



شكل (1-1)

لقد قدَّم نموذج بطليموس نسقًا مضبوطًا - إلى حد - ومعقولًا للتنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء. على أنه حتى يمكن التنبؤ بهذه المواقع على نحو صحيح، كان على بطليموس أن يقوم بافتراض أن القمر يتبع مسارًا يأتي به أحيانًا إلى مسافة من الأرض أقرب مرتَيْن مما في أحيان أخرى. ويعني هذا أن القمر ينبغي أن يظهر أحيانًا أكبر مرتين مما في الأحيان الأخرى! وقد تبيَّن بطليموس هذا الخلل، إلا أن نموذجه كان رغم ذلك مقبولًا

على نحو عام وإن لم يكن ذلك بصورة كلية. وقد اتخذته الكنيسة المسيحية كصورة للكون تتفق مع الكتاب المقدس، لأن فيها ميزة كبرى، حيث إنها تترك خارج كرة النجوم الثابتة متسعًا وافرًا للجنة والجحيم.

ثم طُرح في عام 1514 نموذجٌ أبسط بواسطة قس بولندي، هو نيكولاس كوبرنيكوس. (نشر كوبرنيكوس نموذجه في أول الأمر من دون توقيع وربما كان ذلك خوفًا من أن تتهمه الكنيسة بالهرطقة). وكانت فكرته أن الشمس ثابتة في المركز بينما تتحرَّك الأرض والكواكب في أفلاك دائرية حول الشمس. وقد مر ما يقرب من قرن قبل أن تؤخذ هذه الفكرة مأخذًا جديًا. وبعدها أخذ عالمان فلكيان - هما الألماني جوهانز كبلر، والإيطالي جاليليو جاليلى - في تأييد النظرية الكوبرنيكية علنًا، رغم حقيقة أن الأفلاك التي تنبأت بها لم تكن تتفق تمامًا والأفلاك المرصودة. ثم أتت الضربة المميتة للنظرية الأرسطية/ البطلمية في عام 1609. ففي تلك السنة بدأ جاليليو يرصد السماء ليلًا بتليسكوب تم اختراعه في ذلك الوقت. وعندما نظر جاليليو إلى كوكب المشترى، وجد أنه مصحوب بتوابع صغيرة عديدة أو أقمار تدور من حوله. وكان هذا يدل على أنه «لا» ينبغي أن يدور كل شيء مباشرة حول الأرض، كما كان يعتقد أرسطو وبطليموس. (وبالطبع كان ما زال ممكنًا وقتها الاعتقاد بأن الأرض ثابتة في مركز الكون، وأن أقمار المشترى تتحرَّك في مسارات بالغة التعقيد

حول الأرض بحيث تعطي «المظهر» بأنها تدور حول المشترى. على أن نظرية كوبرنيكوس كانت أبسط كثيرًا). وفي الوقت نفسه، عدَّل جوهانز كبلر من نظرية كوبرنيكوس، مقترحًا أن الكواكب تتحرَّك، لا في دوائر وإنما في قطع ناقص (القطع الناقص هو دائرة مطوَّلة أو إهْلِيلَج). والآن فإن التنبؤات أصبحت في النهاية متفقة مع المشاهدات.

في ما يخص كبلر، فإن مدارات القطع الناقص كانت مجرد فرضية لغرض معين، وهي فرضية تكاد تكون منفِّرة وقتها، لأن من الواضح أن مدارات القطع الناقص أقل كمالًا من الدوائر. ولكنه وقد اكتشف بما يكاد يكون مصادفة أن مدارات القطع الناقص تتلاءم جيدًا مع المشاهدات، فإنه لم يستطِع أن يوفِّق بينها وبين فكرته القائلة بأن الكواكب قد جُعلت لتدور حول الشمس بواسطة القوى المغناطيسية. ولم يقدَّم التفسير إلا بعد ذلك بكثير في عام 1687، عندما نشر السير إسحق نيوتن «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، ولعله أهم مؤلف قد نُشر على الإطلاق في العلوم الفيزيائية. ونيوتن في هذا الكتاب لا يطرح نظرية عن كيفية تحرك الأجسام في المكان والزمان فحسب، ولكنه أيضًا ينشئ الرياضيات المعقدة اللازمة لتحليل هذه التحركات. وبالإضافة، فإن نيوتن قد وضع قانونًا للجاذبية الكونية، وحسب هذا القانون فإن كل جسم في الكون ينجذب لأي جسم آخر بقوة تزيد شدتها كلما زادت كتلة الجسمين وكلما زاد قرب أحدهما من الآخر.

وهذه القوة هي التي تسبب سقوط الأشياء نحو لأرض. (وقصة أن نيوتن قد ألهمه سقوط تفاحة على رأسه هي في الغالب المؤكد مشكوك في صحتها. وكل ما حدث أن قاله نيوتن نفسه، هو أن فكرة الجاذبية واتته وهو جالس «في حالة تأمل» تصادفت مع سقوط تفاحة). واستمر نيوتن ليبيِّن أنه حسب قانونه، فإن الجاذبية تسبب حركة القمر حول الأرض في فلك إهليلجي، وهي السبب في أن الأرض والكواكب تتبع مسارات من قطع ناقص حول الشمس.

لقد تخلَّص نموذج كوبرنيكوس من كـرات بطليموس السماوية، وتخلَّص معها من فكرة أن الكون له حد طبيعي. ولمَّا كانت «النجوم الثابتة» لا تظهر تغيرًا في مواقعها عدا القليل من الدوران عبر السماء نتيجة أن الأرض تدور حول محورها، فقد كان من الطبيعي افتراض أن النجوم الثابتة هي أشياء مثل شمسنا ولكنها أبعد منها كثيرًا.

تبيَّن لنيوتن، حسب نظريته عن الجاذبية، أن النجوم ينبغي أن يجذب أحدها الآخر، وهكذا يبدو أنها لا تستطيع أن تبقى أساسًا بلا حركة. ألن يحدث لها أن تهوي كلها معًا عند نقطة معينة؟ وفي خطاب أرسله نيوتن في عام 1691 إلى ريتشارد بنتلي، وهو مفكر آخر من المبرزين في زمانه، حاجج نيوتن بأن هذا الأمر كان سيحدث حقًا لو أن هناك فحسب عددًا متناهيًا من النجوم موزَّعًا على منطقة متناهية من المكان ولكنه من الناحية الأخرى يحاجج

بأنه لو كان هناك عدد لا متناهٍ من النجوم، موزع بما يكاد يكون توزيعًا متسقًا على مكان لا متناه، فإن هذا الأمر لن يحدث، لأنه لن تكون لدى النجوم أي نقطة مركزية تهوي إليها.

وهذه الحجة هي مثال للعثرات التي يمكن أن تلاقيها عند الحديث عن المالانهاية. ففي كون لا متناه، يمكن النظر لكل نقطة على أنها المركز، لأن كل نقطة سيكون على كل جانب منها عدد لا متناه من النجوم. والتناول الصحيح الذي لم يتم تبيّنه إلا بعد ذلك بكثير، هو النظر إلى الموقف المتناهي، حيث النجوم كلها تهوي للداخل أحدها فوق الآخر، ثم نسأل كيف تتغيَّر الأمور لو أضاف المرء نجومًا أكثر تتوزع خارج هذه المنطقة توزيعًا متَّسقًا على وجه قريب. حسب قانون نيوتن، فإن النجوم الإضافية لن تسبب مطلقًا أي اختلاف في الأمر بالنسبة للنجوم الأصلية في المتوسِّط، وهكذا فإن النجوم ستهوي إلى الداخل بالسرعة نفسها. وفي وسعنا أن نضيف من النجوم أي قدر نشاء، ولكنها ستظل دائمًا تتهاوى للداخل فوق بعضها. ونحن الآن نعلم أن من المستحيل أن يكون لدينا نموذج استاتيكي لا متناهٍ للكون تكون الجاذبية فيه دائمًا في جذب.

إنه لانعكاس شيِّق للمناخ العام للفكر قبل القرن العشرين، أن أحدًا لم يقترح أن الكون يتمدَّد أو ينكمش. فقد كان المقبول عامة هو أن الكون قد وُجد دائمًا في حال لا يتغيَّر، أو أنه قد نشأ في وقت متناهٍ في الماضي وهو على مثل ما نلاحظه الآن بدرجة أو

أخرى. ولعل هذا يرجع في جزء منه إلى نزعة الناس إلى الاعتقاد في حقائق أبدية، كما قد يرجع إلى ما يلقونه من راحة في الاعتقاد بأنه رغم أنهم قد تزيد بهم السنّ ويموتون، إلا أن الكون أبديّ لا يتغير.

وحتى أولئك الذين تبيَّنوا أن نظرية نيوتن عن الجاذبية توضح أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيًا، حتى هؤلاء لم يفكِّروا في افتراض أن الكون قد يكون متمدِّدًا. وبدلًا من ذلك فقد حاولوا تعديل النظرية بجعل قوة التجاذب تصبح قوة تنافرية على المسافات الكبيرة جدًا. ولم يكن لذلك تأثير ذو دلالة على تنبؤاتهم بتحركات الكواكب، ولكنه سمح لتوزيع لا متناهٍ للنجوم بأن يبقى في حالة توازن - حيث قوى الجذب بين النجوم القريبة تتوازن بقوى التنافر من تلك النجوم الأكثر بعدًا. على أننا نعتقد الآن أن توازنًا كهذا سيكون غير مستقر: لو أن النجوم في منطقة ما أصبحت فقط أقرب قليلًا بعضها لبعض، فإن قوى التجاذب في ما بينها تصبح أقوى وتتغلَّب على قوى التنافر بحيث تستمر النجوم في السقوط أحدها نحو الآخر. ومن الناحية الأخرى، فلو أن النجوم تباعدت قليلًا أحدها عن الآخر، فإن قوى التنافر سوف تتغلَّب وتدفعها إلى مزيد من التباعد.

ثمَّة اعتراض آخر على الكون الاستاتيكي اللامتناهي يُنسب عادة إلى الفيلسوف الألماني هنريخ أولبرز، الذي كتب عن هذه النظرية في عام 1823. والحقيقة أن معاصرين كُثُر لنيوتن قد أثاروا

المشكلة، حتى إن مقالة أولبرز لم تكن أول مقالة تحوي حججًا معقولة ضدها. على أنها كانت المقالة الأولى التي لوحظت على نطاق واسع. ووجه الصعوبة هو أنه في الكون الاستاتيكي اللامتناهي سينتهي تقريبًا كل خط للإبصار على سطح أحد النجوم. وهكذا فإن المرء ليتوقَّع أن السماء كلها ستكون ساطعة كالشمس، حتى في الليل. وما يضاد حجة أولبرز هو أن الضوء من النجوم البعيدة سيتم تعتيمه بالامتصاص بواسطة المادة التداخلية. على أنه لو حدث ذلك فإن هذه المادة التداخلية ستزداد سخونة في النهاية حتى تتوهَّج ساطعة مثل النجوم. والطريقة الوحيدة لتجنب استنتاج أن سماء الليل كلها ينبغي أن تكون ساطعة مثل سطح الشمس هي افتراض أن النجوم لم تكن تسطع دائمًا، ولكنها قد بدأت ذلك عند زمن متناه في الماضي. وفي هذه الحالة فإن المادة الماصّة ربما تكون لم تسخن بعد أو قد يكون الضوء من النجوم البعيدة لم يصل إلينا بعد. وهذا يصل بنا إلى السؤال عمَّا قد يكون السبب في أن النجوم قد ظهرت في الأصل.

وبالطبع، فإن بداية الكون قد نُوقش أمرها قبل ذلك بزمن طويل. وحسب عدد من الكونيَّات المبكرة، وحسب التراث اليهودي/ المسيحي، فإن الكون قد بدأ عند زمن متناه في الماضي وليس بعيدًا جدًا. وإحدى حجج مثل هذه البداية هي الشعور بأن من الضروري أن تكون هناك «علة أولى» لتفسير وجود الكون. (إنك دائمًا تفسِّر أحد الأحداث داخل الكون بأنه قد نتج عن

حدث أقدم، ولكن وجود الكون نفسه يمكن فقط تفسيره بهذه الطريقة إذا كانت له بداية ما). وثمَّة حجة أخرى طرحها القديس أوغسطين في كتابه «مدينة الرب». وهو يبيِّن أن الحضارة في حالة تقدم وأننا نذكر من أدى هذا الصنيع أو أنشأ ذلك التكنيك. وهكذا فإن الإنسان، وربما أيضًا الكون، لا يمكن أن يكون قد وُجد لزمن جد طويل. ويتقبَّل القديس أوغسطين تاريخًا لبدء الكون حسب سفر التكوين منذ ما يقرب من سنة 5000 ق. م. (من الشيق أن هذا ليس بعيدًا عن نهاية آخر عصر جليدي، نحو سنة 10.000 ق. م. وهو الوقت الذي يخبرنا علماء الآثار بأن المدنية بدأت حقًا عنده).

ومن الناحية الأخرى فإن أرسطو ومعظم الفلاسفة الإغريق كانوا لا يحبون فكرة الخلق، لأنها توحي بتدخل ربَّاني أكثر مما ينبغي. وبالتالي فقد اعتقدوا أن الجنس البشري والعالم من حوله قد وُجدا وسوف يبقيان في الوجود دائمًا. وقد نظر القدماء بالفعل في محاجة التقدم التي وُصفت أعلاه، وأجابوا عنها بقولهم إنه كانت ثمَّة دورات من فيضانات أو كوارث أخرى كانت تنتكس مرارًا بالجنس البشري ليعود إلى بدء المدنية تمامًا.

مسألة إذا ما كان الكون له بداية في الزمان، وإذا ما كان محدودًا في المكان قد تفحَّصها بعد ذلك وبصورة شاملة الفيلسوف إيمانويل كانت في مؤلفه البارز (والغامض جدًا) «نقد العقل

المحض[1]»، الذي نُشر في عام 1781. وقد سمَّى هذه المسائل نقائض (أي تناقضات) العقل الخالص لأنه شعر أن ثمَّة حججًا تتساوَى قوة للإيمان بدعوى أن الكون له بداية، وللإيمان بالدعوى النقيضة من أن الكون قد وُجد دائمًا. وحجته للدعوى هي أنه لو كان الكون بلا بداية، فستكون هناك فترة زمان لا نهائية قبل أي حدث، ما اعتبره منافيًا للعقل. وحجته للدعوى النقيضة هي أنه لو كانت للكون بداية، فإنه ستكون هناك فترة زمان لا نهائية قبله، وإذن فلماذا ينبغي أن يبدأ الكون عند أي لحظة واحدة بعينها؟ والحقيقة أن قضيتيه لكل من الدعوى ونقيضها هما في الواقع المحاججَة نفسها. فكلتاهما تأسَّس على افتراض لم ينطق به، بأن الزمان يستمر إلى الوراء حتى الأزل سواء كان الكون قد وُجد أم لم يوجد دائمًا. وكما سوف نرى فإن مفهوم الزمان لا معنى له قبل بدء الكون. وقد أوضح القديس أوغسطين هذا لأول مرة. فعندما سُئل: ماذا كان الرب يفعل قبل خلق الكون؟ لم يجب أوغسطين بأنه: كان يُعِدّ الجحيم لمن يسألون أسئلة كهذه. وبدلًا من ذلك قال إن الزمان هو خاصيّة للكون الذي خلقه الرب، وإن الزمان لم يكن يوجد قبل بدء الكون.

عندما كان معظم الناس يؤمنون بكون هو في جوهره استاتيكي وغير متغيِّر، فإن مسألة إذا كانت له بداية أو لم تكن، كانت في

(1) نقد العقل المحض، إيمانويل كانط، ترجمة الدكتور موسى وهبة، منشورات دار التنوير، طبعة جديدة منقحة، 2015.

الواقع مسألة ميتافيزيقية أو لاهوتية. وكان يمكن للمرء تفسير المشاهدات تفسيرًا يتساوى جودة سواء على أساس نظرية أن الكون قد وُجد دائمًا أو نظرية أنه قد بدأ حركته في وقت ما متناهٍ على نحو يجعله يبدو كأنه قد وُجد دائمًا. إلا أن إدوين هابل أجرى في عام 1929 رصدًا بالغ الأهمية: حيثما وجَّهت بصرك، تجد المجرات البعيدة تتحرَّك بسرعة بعيدًا عنًّا. وبكلمات أخرى فإن الكون يتمدَّد. يعني هذا أن الأشياء كانت في الأوقات السالفة أكثر اقترابًا من بعضها بعضًا. ويبدو أنه كان ثمَّة وقت منذ نحو عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، حيث كانت الأشياء كلها في المكان نفسه بالضبط، وبالتالي فإن كثافة الكون وقتها كانت لا متناهية. وهذا الاكتشاف هو الذي أتى في النهاية بمسألة بداية الكون إلى دنيا العلم.

تطرح مشاهدات هابل أنه كان ثمَّة وقت يسمَّى الانفجار الكبير big bang، حيث كان الكون صغيرًا لا نهاية لصغره وكثيفًا كثافة لا متناهية. وتحت ظروف كهذه تنهار كل قوانين العلم، وبالتالي تنهار كل قدرة على التنبؤ بالمستقبل. لو كانت ثمَّة أحداث مبكِّرة قبل ذلك الوقت، فإنها إذن لا يمكنها أن تؤثِّر في ما يحدث في الوقت الحالي. ووجودها هو ما يمكن تجاهله، لأنه لن تكون له أي نتائج ذات مشاهدات. ويمكن للمرء أن يقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير، بمعنى أن الأزمنة السابقة عليه هي ببساطة ما لا يمكن أن يُعرَّف. ينبغي التأكيد على أن بداية الزمان

هذه تختلف تمامًا عن تلك البدايات التي نظرناها في ما سبق. ففي كون غير متغيِّر، تكون بداية الزمان شيئًا يجب أن يفرضه كائن من خارج الكون؛ وليس من ضرورة فيزيائية لبداية ما. ويمكن للمرء أن يتصوَّر أن الرب قد خلق الكون بالمعنى الحرفي في أي وقت في الماضي. ومن الناحية الأخرى. إذا كان الكون يتمدَّد، فإنه قد تكون ثمَّة علل فيزيائية للسبب في أنه يجب أن تكون ثمَّة بداية. ولا يزال المرء يستطيع أن يتصوَّر أن الرب قد خلق الكون لحظة الانفجار الكبير، أو حتى بعدها بطريقة هي بالضبط التي تجعله يبدو كما لو كان ثمَّة انفجار كبير، ولكن سيكون مما لا معنى له افتراض أن الكون قد خُلق «قبل» الانفجار الكبير. الكون المتمدِّد لا يمنع وجود خالق، ولكنه يضع بالفعل قيودًا على الوقت الذي ربما نفَّذ فيه مهمته!

حتى نتحدث عن طبيعة الكون ونناقش أسئلة مثل السؤال عمَّا إن كانت له بداية أو نهاية، فإنه ينبغي أن يكون واضحًا لك ما تكونه النظرية العلمية. وسوف أتخذ وجهة النظر ذات التفكير البسيط؛ وهي أن أي نظرية هي فحسب نموذجٌ للكون أو لجزء محدود منه، وهي أيضًا مجموعة من القواعد التي تربط الكميات التي في هذا النموذج بالمشاهدات التي نجريها. وهي لا توجد إلا في عقولنا وليس لها أي واقع آخر (أيًا كان يعني ذلك).

والنظرية تكون نظرية جيدة إذا كانت تفي بمطلَبَيْن اثنين: فهي يجب أن تصف توصيفًا مضبوطًا طائفة كثيرة من المشاهدات على

أساس من نموذج يحوي فحسب عناصر تعسُّفية معدودة، ويجب أن تصنع تنبؤات محدَّدة عن نتائج المشاهدات في المستقبل. وكمثال، فإن نظرية أرسطو القائلة إن كل شيء قد صُنع من أربعة عناصر، التربة، والهواء، والنار، والماء، كانت من البساطة بما يكفي لتأهيلها، ولكنها لم تصنع أي تنبؤات محدَّدة. ومن الناحية الأخرى فإن نظرية نيوتن عن الجاذبية تأسَّست على نموذج أكثر بساطة، حيث الأجسام يجذب بعضها الآخر بقوة تتناسب مع كَمّ يسمَّى «كتلتها» وتتناسب عكسيًا مع مربع المسافة في ما بينها. إلا أنها تتنبأ بتحرُّكات الشمس، والقمر، والكواكب بدرجة عالية من الدقة.

أيّ نظرية فيزيائية هي دائمًا مؤقَّتة، بمعنى أنها فرضية فحسب: فأنت لا تستطيع قط أن تبرهن عليها. ومهما زادت مرات اتفاق نتائج التجارب مع نظرية ما، فإنك لا تستطيع قط أن تتيقن من أنه في المرة التالية لن تتناقض النتيجة مع النظرية. ومن الناحية الأخرى فإنك تستطيع تفنيد إحدى النظريات بأن تعثر على مشاهدة واحدة تتعارض مع تنبؤات النظرية. وكما أكد فيلسوف العلم كارل بوبر، فإن النظرية الجيدة تتميز بحقيقة أنها تصنع عددًا من التنبؤات يمكن من حيث المبدأ تفنيدها أو دحضها بالمشاهدة. وفي كل مرة نلاحظ فيها أن تجارب جيدة تتفق مع التنبؤات فإن النظرية تبقى، وتزيد ثقتنا فيها؛ ولكن لو حدث أن وُجدت مشاهدة جديدة متعارضة، يكون علينا أن ننبذ النظرية أو نعدِّلها. أو على

الأقل هذا ما يُفترض أن يحدث. على أنك تستطيع دائمًا أن تتشكَّك في كفاءة الشخص الذي أجرى المشاهدة.

أمَّا في التطبيق، فما يحدث غالبًا هو أن توضع نظرية جديدة، هي في الواقع امتدادٌ للنظرية السابقة. وكمثال فإن المشاهدات الدقيقة جدًا للكوكب عطارد كشفت عن اختلاف بسيط بين تحركه وما تنبَّأت به نظرية نيوتن عن الجاذبية. تنبَّأت نظرية آينشتاين للنسبية العامة بتحرُّك يختلف اختلافًا بسيطًا عن نظرية نيوتن. وحقيقة أن تنبؤات آينشتاين توافقت مع ما تتم رؤيته، بينما لم تتوافق تنبؤات نيوتن، كان أحد الإثباتات الحاسمة للنظرية الجديدة. إننا ما زلنا نستخدم نظرية نيوتن في كل الأغراض العملية لأن الفارق بين تنبؤاتها وتنبؤات النسبية العامة هو فارق صغير جدًا في المواقف التي نتناولها عادة. (ونظرية نيوتن أيضًا لها ميزتها الكبرى في أن العمل بها أبسط كثيرًا من العمل بنظرية آينشتاين!).

الهدف النهائي للعلم هو أن يمد بنظرية وحيدة تصف الكون كله. على أن التناول الذي يتبعه معظم العلماء بالفعل هو فصل المشكلة إلى جزءين. فأولًا، هناك القوانين التي تخبرنا بطريقة تغيّر الكون بالزمان. (إذا عرفنا ما يبدو عليه الكون في أي وقت معين، تخبرنا هذه القوانين بما سوف يبدو عليه في أي وقت بعده). وثانيًا، هناك مسألة الحال المبدئي للكون. بعض الناس يشعرون أن العلم ينبغي أن يختص بالجزء الأول فحسب؛ فهم يعتبرون أن مسألة الحال المبدئي هي إحدى مسائل الميتافيزيقا

أو الدين. وسيقولون إن الرب يستطيع بقدرته بدء الكون بأي طريقة يشاء. قد يكون الأمر هكذا، ولكن الرب يستطيع أيضًا في هذه الحالة أن يجعله ينشأ على منوال اعتباطي تمامًا. ولكنه كما يظهر قد اختار أن يجعله يتطوَّر على نحو جد منتظم حسب قوانين معيَّنة. وهكذا فإنه من المنطقي تمامًا اقتراح أن هناك أيضًا قوانين تحكم الحال المبدئي.

يثبت في النهاية أن من الصعب جدًا وضع نظرية تصف الكون كله دفعة واحدة. بدلًا من ذلك، فإننا نقسِّم المشكلة إلى أجزاء ونبتكر عددًا من النظريات الجزئية. وكل من هذه النظريات الجزئية يصف ويتنبَّأ بنوع محدود من المشاهدات، مهملًا تأثير الكميات الأخرى، أو ممثلًا إياها بمجموعات بسيطة من الأرقام. وقد يكون هذا التناول خطأً بالكامل. فإذا كان كل شيء في الكون يعتمد اعتمادًا جوهريًا على كل شيء آخر، فقد يكون من المستحيل الاقتراب من حل تام بأن تُستقصى أجزاء المشكلة وهي منفصلة. وعلى كل، فهذه بالتأكيد هي الطريقة التي صنعنا بها تقدمنا في ما مضى. والمثل الكلاسيكي مرة أخرى هو نظرية نيوتن عن الجاذبية، التي تخبرنا بأن قوة التجاذب بين جسمَيْن تعتمد فحسب على رقم واحد مرتبط بكل جسم، هو كتلته، ولكنها في ما عدا ذلك لا تعتمد على ما تُصنع منه الأجسام. وهكذا فإن المرء لا يحتاج لنظرية عن بنية وتكوين الشمس والكواكب حتى يحسب أفلاكها.

واليوم يصف العلماء الكون في حدود نظريتين جزءيتين أساسيتين - نظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم. فهما الإنجازان الفكريان للنصف الأول من هذا القرن. نظرية النسبية العامة تصف قوة الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير، أي البنية بمقاييس تتراوح ما بين عدة أميال وما يصل إلى مليون مليون مليون (واحد تتبعه أربعة وعشرون صفرًا) من الأميال، أي حجم الكون القابل للرصد. ميكانيكا الكم من الجانب الآخر تتناول ظواهر بمقاييس بالغة الصغر، مثل جزء من المليون من جزء من المليون من البوصة. على أنه لسوء الحظ، من المعروف أن هاتين النظريتين لا تتوافق إحداهما مع الأخـرى، فلا يمكن أن تكون كلاهما صحيحة. إحدى المحاولات الرئيسية التي تُبذل في الفيزياء اليوم، وهي أيضًا المبحث الرئيسي لهذا الكتاب، هي البحث عن نظرية جديدة تدمج النظريتين معًا - نظرية كَمّ للجاذبية. ليست لدينا بعدُ نظرية كهذه، وربما لا نزال بعيدين عن الحصول عليها، ولكننا نعرف بالفعل من قبل الكثير من الخواص التي ينبغي أن تكون لها. سوف نرى في الفصول القادمة، أننا نعرف من قبل قدرًا له اعتباره من التنبؤات التي ينبغي أن تصنعها نظرية كَمّ للجاذبية.

والآن فلو أنك تؤمن بأن الكون ليس عشوائيًا، وإنما تحكمه قوانين محدَّدة، فإن عليك في النهاية أن تضم النظريات الجزئية في نظرية كاملة موحَّدة ستصف كل شيء في الكون. على أن ثمَّة مفارقة أساسية في البحث عن نظرية كاملة موحَّدة هكذا.

فالأفكار عن النظريات العلمية التي أوجزناها أعلاه تفترض أننا كائنات عقلانية لنا حرية مشاهدة الكون كما نريد، وأن نستنبط استنباطات منطقية مما نراه. وفي مخطَّط كهذا يكون من المعقول أن نفترض أننا ربما نتقدَّم دائمًا مقتربين أكثر من القوانين التي تحكم كوننا. ولكن لو أن هناك حقًا نظرية كاملة موحَّدة فإنها، في ما يُفترض أيضًا، سوف تحتّم أفعالنا. وهكذا فإن النظرية نفسها ستحتم حصيلة بحثنا عنها! ولماذا ينبغي أن تحتّم أننا سنصل إلى الاستنتاجات الصحيحة من البراهين؟ ألا يمكن أنها ستحتّم وصولنا إلى الاستنتاج الخطأ؟ (بنسبة مساوية لنسبة وصولنا إلى الاستنتاجات الصحيحة) أو إلى لا استنتاج على الإطلاق؟

إن الإجابة الوحيدة التي أستطيع أن أدلي بها عن هذه المشكلة تتأسَّس على مبدأ الانتخاب الطبيعي. الفكرة هي أنه في أي مجموعة من الكائنات التي تتكاثر ذاتيًا، ستكون ثمَّة تباينات في المادة الوراثية وفي النشأة عند الأفراد المختلفين. وهذه الاختلافات تعني أن بعض الأفراد أقدر من الآخرين على استنباط النتائج الصحيحة عن العالم من حولهم، وعلى أن يتصرَّفوا حسب ذلك. هؤلاء الأفراد يزيد احتمال بقائهم وتكاثرهم؛ وهكذا فإن نمط سلوكهم وفكرهم هو الذي سيهيمن. من المؤكد أنه كان من الحقيقي في الماضي أن ما نسميه الذكاء والكشف العلمي قد أضفيا ميزة بالنسبة للبقاء. على أنه ليس من الواضح إذا كانت الحال ما زالت كذلك: فكشوفنا العلمية قد تؤدِّي إلى دمارنا كلنا تمامًا، وحتى لو لم تفعل، فإن النظرية الكاملة الموحَّدة لن تجعل

ثمَّة فارقًا كبيرًا بالنسبة لفرصتنا في البقاء. وعلى كل، بافتراض أن الكون قد تطوَّر بأسلوب منتظم، فإن لنا أن نتوقَّع أن القدرات العقلية التي أتاحها لنا الانتخاب الطبيعي ستكون أيضًا صالحة في بحثنا عن نظرية كاملة موحَّدة، وهكذا فإنها لن تؤدي بنا إلى الاستنتاجات الخطأ.

لما كانت النظريات الجزئية التي لدينا من قبل كافية لصنع تنبؤات مضبوطة في كل المواقف عدا أقصاها تطرّفًا، فإن البحث عن نظرية نهائية للكون يبدو مما يصعب تبريره على أسس عملية. (على أن ما يستحق الذكر أنه.كان من الممكن استخدام حجج مشابهة ضد كل من النسبية وميكانيكا الكم، وهاتان النظريتان قد أعطتا لنا كلًا من الطاقة النووية والثورة الميكروإلكترونية!) إن اكتشاف نظرية كاملة موحَّدة هو إذن ما قد لا يساعد على بقاء نوعنا. بل إنه قد لا يؤثِّر حتى في أسلوب حياتنا. على أن الناس دائمًا منذ فجر المدنية لم يقنعوا بأن يروا الأحداث على أنها غير مترابطة وغير قابلة للتفسير. فظلوا يلتمسون فهْم النظام الأساسي للعالم. واليوم فإننا ما زلنا نتوق لمعرفة لماذا نحن هنا ومن أين أتينا. إن الرغبة الإنسانية العميقة في المعرفة لهي مبرِّر كاف لبحثنا المتصل. وهدفنا لا أقل من توصيف كامل للكون الذي نعيش فيه.

(2)

المكان والزمان

أفكارنا الحالية عن حركة الأجسام ترجع إلى الوراء حتى جاليليو ونيوتن. كان الناس قبلهما يصدِّقون أرسطو، الذي قال إن الحالة الطبيعية لجسم ما هي أن يكون ساكنًا، وأنه لا يتحرَّك إلا إذا دفعَته قوة أو دافع. وبالتالى فإن الجسم الثقيل ينبغي أن يسقط بأسرع من الجسم الخفيف. لأنه سيكون له شدّ أكبر إلى الأرض.

والتراث الأرسطي يؤمن أيضًا بأن المرء يستطيع أن يستنبط كل القوانين التي تحكم الكون بالفكر: فليس من الضروري التحقُّق بواسطة المشاهدة. وهكذا لم يهتم أحد حتى زمن جاليليو بأن يرى ما إذا كانت الأجساد ذات الوزن المختلف تسقط فعلًا في الحقيقة على سرعات مختلفة. يُقال إن جاليليو برهن على زَيْف اعتقاد أرسطو بأن أسقط أثقالًا من برج بيزا المائل. ويكاد يكون من المؤكد أن هذه القصة غير حقيقية، ولكن جاليليو قام فعلًا بصنْع شيء مماثل: فقد دحرج كرات من أوزان مختلفة أسفل منحدر ممهَّد. والوضع يشبه الأجسام الثقيلة إذ تسقط رأسيًا، ولكنه أسهل في ملاحظته لأن السرعات تكون أقل. وقد بيَّنت

قياسات جاليليو أن كل جسم قد زادت سرعته بالمعدل نفسه، بصرف النظر عن وزنه. فمثلًا، يمكنك أن تطلق كرة على منحدر ينحدر مترًا واحدًا لكل عشرة أمتار تقطعها، وستتحرَّك الكرة أسفل المنحدر بسرعة تقترب من متر في الثانية بعد ثانية واحدة، ومترين في الثانية بعد ثانيتين، وهلم جرا، مهما كان ثقل الكرة. وبالطبع فإن ثقلًا من الرصاص سيكون سقوطه أسرع من الريشة، ولكن السبب في هذا هو فقط أن مقاومة الهواء تقلِّل من سرعة الريشة. لو أسقط المرء جسمين لا تعترضهما مقاومة كبيرة من الهواء، مثل ثقلَيْن مختلفَيْن من الرصاص، فإنهما يسقطان بالمعدل نفسه.

استخدم نيوتن قياسات جاليليو كأساس لقوانينه عن الحركة. وفي تجارب جاليليو، إذ يتدحرج أحد الأجسام أسفل المنحدر فإنه يكون دائمًا تحت مفعول القوة نفسها (ثقله)، وتأثير ذلك هو أن تتزايد سرعته بثبات. ويبيِّن هذا أن التأثير الحقيقي لقوة ما، هو أنها دائمًا تغيِّر من سرعة الجسم، بدلًا من أن تحرّكه فحسب، كما كان الاعتقاد من قبل. ويعني هذا أيضًا أنه ما دام أن أحد الأجسام غير واقع تحت مفعول أي قوة، فإنه سيظل يتحرَّك في خط مستقيم بالسرعة نفسها. وقد تم ذكر هذه الفكرة لأول مرة بوضوح في مؤلَّف نيوتن «المبادئ الرياضية» الذي نُشر في عام 1687، وتُعرف بقانون نيوتن الأول. ويوضح لنا قانون نيوتن الثاني ما يحدث لأحد الأجسام عندما تُؤثِّر فعلًا إحدى القوى عليه. ويقرِّر هذا أن الجسم سيزيد تسارعه «عجلته»، أو تتغيَّر سرعته، بمعدل

يتناسب مع القوة. (وكمثال، فإن التسارع يتضاعف قدره عندما يتضاعف قدر القوة). والتسارع يقل أيضًا بزيادة كتلة الجسم (أو كمية مادته). (عندما تعمل القوة نفسها على جسم له ضعف الكتلة سينتج عن ذلك نصف التسارع). ومن الأمثلة المألوفة ما يحدث للسيارة: فكلما زادت قوة المحرك، زاد التسارع، ولكن كلما ثقلت السيارة، قلَّ تسارع المحرك نفسه.

وبالإضافة إلى قوانينه عن الحركة، اكتشف نيوتن قانونًا يصف قوة الجاذبية، يقرِّر أن كل جسم يجذب كل جسم آخر بقوة تتناسب مع كتلة كل جسم. وهكذا فإن القوة التي بين جسمين ستزيد إلى الضعف لو أن أحد الجسمين (الجسم أ مثلًا) تضاعفت كتلته. وهذا ما يمكن أن تتوقعه لأن المرء يستطيع أن يتصوَّر الجسم الجديد أ وكأنه مصنوع من جسمين كل منهما بالكتلة الأصلية. وكل منهما سوف يجذب الجسم ب بالقوة الأصلية. وهكذا فإن القوة الكلية بين أ و ب تصبح ضعف القوة الأصلية. وإذا كان لأحد الجسمين مثلًا ضعف الكتلة، وللثاني ثلاثة أضعاف الكتلة فإن القوة تصبح أشد بستة أضعاف. ويستطيع المرء الآن أن يعرف لماذا تسقط كل الأجسام بالمعدل نفسه: فالجسم ذو الوزن المضاعف سيكون شده لأسفل بضعف قوة الجاذبية، ولكنه أيضًا له ضعف الكتلة. وحسب قانون نيوتن الثاني، فإن هذين المفعولين يلغي أحدهما الآخر بالضبط؛ وهكذا فإن التسارع يكون ثابتًا في كل الحالات.

قانون نيوتن للجاذبية يخبرنا أيضًا أنه كلما تباعدت الأجسام، صغرت القوة. ويقول قانون نيوتن للجاذبية إن شد جاذبية أحد النجوم يكون بالضبط ربع شد نجم مماثل على نصف المسافة ويتنبَّأ هذا القانون بأفلاك الأرض، والقمر، والكواكب بدقة عظيمة. ولو كان القانون هو أن شد جاذبية أحد النجوم يقل بالمسافة بسرعة أكبر، فإن أفلاك الكواكب لن تكون في قطع ناقص، وإنما ستدور الكواكب لولبيًا في داخل الشمس ولو أنها كانت تقل بسرعة أبطأ، فإن قوى الجاذبية من النجوم البعيدة ستتغلَّب على قوى الجاذبية من الأرض.

الفارق الكبير بين أفكار أرسطو وأفكار جاليليو ونيوتن هو أن أرسطو كان يؤمن بحال مفضَّل من السكون، يتخذه أي جسم ما دام لا تدفعه قوة أو دافع. وكان بالذات يعتقد أن الأرض ساكنة. على أنه يترتب على قوانين نيوتن أن ليس ثمَّة معيار وحيد للسكون. فالمرء يستطيع أن يقول جملتين متساويتين في الصحة، الأولى: إن الجسم أ كان ساكنًا بينما كان الجسم ب يتحرَّك بسرعة ثابتة بالنسبة للجسم أ. والثانية: إن الجسم ب كان ساكنًا بينما كان أ يتحرَّك. وكمثال، لو وضعنا جانبًا للحظة دوران الأرض وفلكها حول الشمس، فإن المرء يستطيع القول إن الأرض كانت ساكنة بينما ثمَّة قطار فوقها يتحرَّك شمالًا بسرعة تسعين ميلًا في الساعة، أو أن القطار كان ساكنًا بينما الأرض تتحرَّك جنوبًا بسرعة تسعين ميلًا في الساعة. ولو أجرى المرء التجارب على أجسام تتحرَّك

فوق قطار، فإن كل قوانين نيوتن تظل صحيحة. وكمثال، لو لعبنا بكرة تنس الطاولة على القطار، سيجد المرء أن الكرة تخضع لقوانين نيوتن مثل كرة على مائدة موضوعة خارج القطار إلى جوار القضبان. وهكذا فليس من وسيلة لمعرفة ما إذا كان أي من القطار أو الأرض هو الذي يتحرَّك.

عدم وجود معيار مطلق للسكون يعني أن المرء لا يستطيع أن يحدِّد إذا كان حدثان قد وقعا في أوقات مختلفة هما ما حدث في الموضع نفسه من المكان. وكمثال، فلتفترض أن كرة تنس الطاولة على القطار قد قفزت مباشرة إلى أعلى وأسفل، لترتطم بالنضد مرتين على النقطة نفسها بفارق ثانية واحدة. سيبدو للشخص الذي على القضبان أن القفزتين قد وقعتا بما يفصلهما بأربعة أمتار، لأن القطار سيكون قد تحرَّك هذه المسافة على القضبان بين القفزتين. وعدم وجود سكون مطلق يعني إذن أن المرء لا يستطيع أن يعطي لأحد الأحداث موضعًا مطلقًا في المكان، كما كان أرسطو يعتقد. ومواضع الأحداث والمسافات في ما بينها تختلف بالنسبة للشخص الذي على القطار والشخص الذي على القضبان، وليس من سبب لأن نفضِّل مواضع شخص ما على مواضع الآخرين.

انزعج نيوتن للغاية من هذا الغياب للموضع المطلق، أو المكان المطلق كما كان يسمَّى، لأن هذا لا يتفق وفكرته عن الإله المطلق. والحقيقة أنه رفض تقبُّل غياب المكان المطلق رغم أن

هذا هو ما تدل عليه قوانينه. وقد انتقد أناس كثيرون بشدة اعتقاده هذا غير المنطقي، وعلى وجه الخصوص انتقده الأسقف بركلي، وهو فيلسوف كان يؤمن بأن الأشياء المادية والمكان والزمان كلها توَهُّم. وعندما ذُكر للدكتور جونسون الشهير رأي بركلي، فإنه صاح قائلًا: «إني أدحضه هكذا!» وداس بإصبع قدمه على حصاة كبيرة.

آمن كل من أرسطو ونيوتن بالزمان المطلق. أي أنهما آمنا بأن المرء يستطيع من دون أي لبس أن يقيس فترة الزمن بين حَدَثَيْن. وأن هذا الزمن سيكون هو نفسه أيًا كان من يقيسه، بشرط أن يستخدم الجميع ساعات جيدة. الزمان هو بالكلية منفصل ومستقل عن المكان. وهذا ما سيأخذه معظم الناس على أنه رأي الحس المشترك. على أنه يتوجَّب علينا أن نغيِّر أفكارنا هذه عن المكان والزمان. ورغم أن مفاهيم حسنا المشترك الظاهرة تصلح للعمل عندما نتناول أشياء من مثل التفاح أو الكواكب التي تتحرَّك بسرعة بطيئة نسبيًا، إلا أنها لا تصلح مطلقًا للعمل بالنسبة لأشياء تتحرَّك بسرعة الضوء أو ما يقرب منها.

حقيقة أن الضوء يتحرَّك بسرعة متناهية وإن كانت سريعة جدًا، قد تم اكتشافها في عام 1676 بواسطة الفلكي الدنمركي أُوْل كريستنسن رويمر. وقد لاحظ أن الأوقات التي يبدو فيها أن أقمار المشترى تمر من ورائه لم تكن موزعة على فترات متساوية، كما يتوقَّع المرء لو كانت الأقمار تدور حول المشترى بمعدَّل ثابت.

ولمَّا كانت الأرض والمشترى يدوران حول الشمس، فإن المسافة بينهما تتغيَّر. لاحظ رويمر أن خسوفات أقمار المشترى تظهر متأخِّرة أكثر كلما ابتعدنا عن المشترى. وحاجج بأن سبب ذلك هو أن الضوء من هذه الأقمار يستغرق زمنًا أطول ليصلنا عندما تكون على مسافة أبعد. على أن قياساته للتباين في مسافة بُعد الأرض عن المشترى لم تكن مضبوطة جدًا، وهكذا أيضًا فإن القيمة التي حدَّدها لسرعة الضوء وهي 140.000 ميلًا في الثانية لم تكن مضبوطة جدًا بالمقارنة بالقيمة الحديثة وهي 186.0000 ميلًا في الثانية. ورغم هذا، فإن إنجاز رويمر كان رائعًا، ليس فقط في إثبات أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية، وإنما أيضًا في قياس تلك السرعة، حيث قد تأتَّى ذلك قبل أن ينشر نيوتن «المبادئ الرياضية» بإحدى عشرة سنة.

لم تظهر النظرية الملائمة لانتشار الضوء حتى عام 1865 عندما نجح الفيزيائي البريطاني جيمس كلارك مكسويل في توحيد النظريات الجزئية التي كانت تستخدم حتى ذلك الوقت في توصيف قوى الكهرباء والمغناطيسية. تنبَّأت معادلات مكسويل بأنه يمكن أن توجد اضطرابات تشبه الموجات في المجال الكهرومغناطيسي المتحد، وأن هذه سوف تنتقل بسرعة ثابتة، مثل التموّجات في بركة. عندما تكون أطوال هذه الموجات (أي المسافة بين ذروة موجة والذروة التالية) مترًا أو أكثر فإنها ما نسميه الآن موجات الراديو. والموجات الأقصر تسمَّى ميكروويف (عدة

سنتيمترات) أو تحت الحمراء (أكثر من جزء من العشرة آلاف من السنتيمتر). للضوء المرئي طول موجة يصل فقط إلى ما بين أربعين وثمانين جزءًا من المليون من السنتيمتر. بل والموجات ذات الطول الأصغر تُعرف بفوق البنفسجية، وأشعة إكس، وأشعة جامّا.

تنبَّأت نظرية مكسويل بأن موجات الراديو أو أشعة الضوء ينبغي أن تنتقل بسرعة معينة ثابتة. ولكن نظرية نيوتن كانت قد تخلَّصت من فكرة السكون المطلق، وهكذا فإذا كان يُفترض أن الضوء ينتقل بسرعة ثابتة، فلا بد للمرء أن يذكر ما الشيء الذي تُقاس هذه السرعة الثابتة بالنسبة له. وهكذا تم اقتراح أن ثمَّة مادة تسمَّى «الأثير» موجودة في كل مكان، حتى في الفضاء «الخاوي». ينبغي أن تنتقل موجات الضوء من خلال الأثير مثلما تنتقل موجات الصوت من خلال الهواء، وإذن فينبغي أن تكون سرعتها منسوبة للأثير. الراصدون المختلفون، الذين يتحرَّكون حركة منسوبة للأثير، سوف يرون الضوء آتيًا باتجاههم بسرعات مختلفة، ولكن سرعة الضوء بالنسبة للأثير ستبقى ثابتة. وبالذات، فإنه عندما تتحرَّك الأرض من خلال الأثير في مدارها حول الشمس، فإن سرعة الضوء التي تُقاس في اتجاه حركة الأرض خلال الأثير (عندما نتحرَّك في اتجاه مصدر الضوء) ينبغي أن تكون أعلى من سرعة الضوء وهو في زاوية قائمة على تلك الحركة (عندما لا نتحرَّك نحو مصدر الضوء). في عام 1887 أجرى ألبرت ميكلسون (الذي أصبح فيما بعد أول أمريكي يتلقَّى جائزة نوبل

في الفيزياء) وإدوارد مورلي تجربة ناجحة جدًا في مدرسة كيس للعلم التطبيقي في كليفلند. فقد قارنا بين سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض وسرعته وهو في زاوية قائمة على حركة الأرض. ولدهشتهما الكبرى، وجدا أنهما متماثلتان بالضبط!

كانت ثمَّة محاولات عديدة بين عامي 1887 و1905، أبرزها محاولة الفيزيائي الهولندي هندريك لورنتز، لتفسير نتيجة ميكلسون - مورلي بطريقة تصف أشياء تنكمش وساعات تبطئ عندما تتحرَّك خلال الأثير. على أنه قد نُشرت ورقة بحث شهيرة في عام 1905 لألبرت آينشتاين، الذي كان حتى ذلك الوقت كاتبًا غير معروف في مكتب سويسري للبراءات، وفيها يبيِّن أن فكرة الأثير بأسرها غير ضرورية، بشرط أن يكون المرء على استعداد لنبذ فكرة الزمان المطلق. وبعدها بعدة أسابيع أبدى أحد الرياضيين الفرنسيين المبرزين، وهو هنري بوانكاريه، رأيًا مماثلًا. وكانت حجج آينشتاين أقرب إلى الفيزياء من حجج بوانكاريه، الذي كان ينظر إلى هذه المشكلة عن أنها رياضية. وعادة يُنسب الفضل في النظرية الجديدة إلى آينشتاين، على أن بوانكاريه يُذكر على أن اسمه يرتبط بجزء مهم منها.

الغرض الأساسي لنظرية النسبية، كما سُمِّيت، هو أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة الذين يتحرَّكون بحرية، بصرف النظر عن سرعتهم. يصدق هذا على قوانين نيوتن للحركة، ولكن الفكرة قد توسّعت الآن لتشمل

نظرية مكسويل وسرعة الضوء: فينبغي أن يقيس كل الملاحظين سرعة الضوء نفسها، بصرف النظر عن سرعة تحركهم. ولهذه الفكرة البسيطة بعض نتائج رائعة. ولعل أشهرها هو تكافؤ الكتلة والطاقة، كما جمَّعه آينشتاين في معادلته المشهورة $E=mc^2$ (حيث E هي الطاقة energy، و m هي الكتلة mass، و c هي سرعة الضوء)، وكذلك هناك القانون بأن لا شيء ينتقل بأسرع من سرعة الضوء. وبسبب تكافؤ الطاقة والكتلة، فإن الطاقة التي تكون لأحد الأشياء بسبب حركته سوف تضيف إلى كتلته. وبكلمات أخرى فإنها ستجعل من الأصعب زيادة سرعته. وهذا التأثير لا تكون له دلالة حقًا، إلا بالنسبة للأشياء التي تتحرَّك في سرعات قريبة من سرعة الضوء. وكمثال فإنه عند سرعة تبلغ 10 في المائة من سرعة الضوء تزيد كتلة الشيء بما هو فقط أكثر من الطبيعي بـ 0.5 في المائة، بينما عند سرعة 90 في المائة من سرعة الضوء ستكون الكتلة أكثر من ضعف كتلته الطبيعية. وإذ يقترب الشيء من سرعة الضوء، فإن كتلته تتزايد دائمًا بسرعة أكبر، وهكذا فإنه يستنفد المزيد والمزيد من الطاقة حتى يزيد سرعته. والحقيقة أنه لا يستطيع قط أن يصل إلى سرعة الضوء، لأن كتلته ستصبح عندها لا متناهية، وحسب تكافؤ الكتلة والطاقة، فإنه سيستلزم قدرًا لا متناهيًا من الطاقة ليصل إلى ذلك. ولهذا السبب فإن أي شيء طبيعي يكون حسب النسبية مقيدًا للأبد بأن يتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء. لذلك فإن الضوء وحده، أو الموجات الأخرى، التي ليست لها كتلة متأصلة، هو الذي يستطيع أن يتحرَّك بسرعة الضوء.

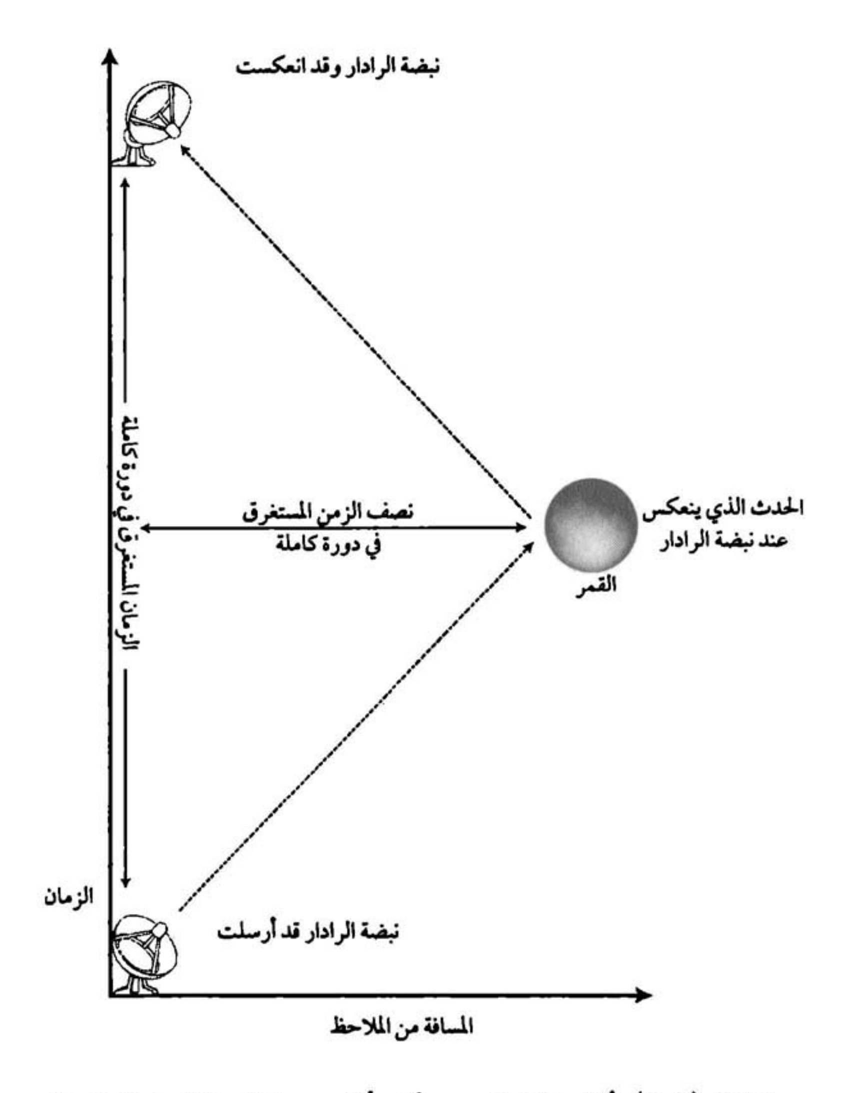
إحدى نتائج النسبية التي تساوي ذلك روعة، هي الطريقة التي ثُوِّرت بها أفكارنا عن المكان والزمان. ففي نظرية نيوتن، لو أرسلت نبضة ضوء من مكان لآخر، فإن الملاحظين المختلفين سيتفقون على الوقت الذي استغرقته الرحلة (حيث إن الزمان مطلق)، ولكنهم لن يتفقوا دائمًا على مقدار المسافة التي تحركها الضوء (حيث إن المكان ليس مطلقًا). ولمَّا كانت سرعة الضوء تساوي فحسب المسافة التي تحركها مقسومة على الزمان الذي استغرقه، فإن الملاحظين المختلفين سيقيسون سرعات مختلفة للضوء. أما في النسبية، من الجانب الآخر، فإن كل الملاحظين «يجب» أن يتفقوا على قدر سرعة حركة الضوء. على أنهم ما زالوا لا يتفقون على المسافة التي تحرَّكها الضوء. وهكذا فإنهم إذن يجب أن يختلفوا الآن أيضًا على الوقت الذي يستغرقه. (الوقت المستغرق هو المسافة التي تحركها الضوء - والتي لا يتفق عليها الملاحظون - مقسومة على سرعة الضوء - التي يتفق عليها الملاحظون فعلًا). وبكلمات أخرى، فإن نظرية النسبية وضعت النهاية لفكرة الزمان المطلق! وبدا أن كل ملاحظ يجب أن يكون لديه قياسه الخاص للزمان، كما تسجله الساعة التي يحملها معه، وأن الساعات المتماثلة التي يحملها ملاحظون مختلفون ليست بالضرورة متفقة.

يستطيع كل ملاحظ أن يستخدم الرادار ليقول أين ومتى وقع الحدث، وذلك بأن يرسل نبضة من موجات الضوء أو الراديو.

وينعكس ثانية جزء من النبضة عند الحدث ويقيس الملاحظ الزمن الذي يتلقَّى عنده الصدى. ويُقال بعدها إن زمن الحدث هو الوقت الذي في المنتصف بين زمن إرسال النبضة والزمن الذي تم فيه استقبال الانعكاس ثانية: فمسافة الحدث هي نصف الوقت الذي يُستغرق لهذه الرحلة الدائرية، مضروبًا في سرعة الضوء. (والحدث بهذا المعنى، هو شيء يقع عند نقطة واحدة في المكان، وعند نقطة محدَّدة في الزمان). وهذه الفكرة موضَّحة في شكل (2–1) وهو مثال للرسم البياني للمكان – الزمان.

باستخدام هذه الطريقة فإن الملاحظين الذي يتحرَّك بعضهم بالنسبة للبعض سيعينون أوقاتًا ومواضع مختلفة للحدث نفسه. ولن تكون قياسات ملاحظ معيَّن أكثر دقة بأي حال عن قياسات أي ملاحظ آخر، ولكن القياسات كلها نسبية. وأي ملاحظ يستطيع أن يستنبط بالضبط ما الزمان والموضع اللذين سيعينهما أي ملاحظ آخر لأحد الأحداث، بشرط أن يعرف السرعة النسبية للملاحظ الآخر.

نحن الآن نستخدم فحسب هذه الطريقة لقياس المسافات قياسًا دقيقًا، لأننا نستطيع قياس الوقت بدقة أكبر من الأطوال. والواقع، أن المتر يُعرف بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في 0.000000003335640952 من الثانية، كما يُقاس بساعة سيزيوم. (السبب في هذا الرقم بالذات هو أنه يناظر التعريف التاريخي للمتر– بحدود من علامتين على قضيب بلاتيني معيَّن محفوظ



شكـل (2-1) يُقاس الزمان عموديًا، ويُقاس بعد المسافة عن الملاحظ أفقيًا. ومسار الملاحظ في المكان والزمان يبينه الخط الرأسي على اليسار. ومسارات أشعة الضوء إلى ومن الحدث هي الخطوط المائلة.

في باريس). وبالمثل، يمكننا استخدام وحدة طول جديدة أكثر ملاءمة تسمَّى ثانية - ضوئية. وهي تعرَّف ببساطة بأنها المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة. ونحن في نظرية النسبية، نعرِّف المسافة الآن بحدود من الزمان وسرعة الضوء، ويترتب على ذلك تلقائيًا أن كل ملاحظ يقيس الضوء سيجد أن له السرعة نفسها (حسب التعريف، متر واحد لكل 0.000000003335640952 من الثانية). ما من حاجة لإدخال فكرة الأثير، الذي لا يمكن بأي حال اكتشاف وجوده، كما بيَّنت تجربة ميكلسون - مورلي. على أن نظرية النسبية تجبرنا بالفعل على أن نغيِّر أفكارنا عن المكان والزمان تغييرًا جوهريًا. فيجب أن نتقبَّل أن الزمان ليس منفصلًا ولا مستقلًا على نحو تام عن المكان، ولكنه ينضم معه ليشكِّلا شيئًا يسمَّى المكان- الزمان.

من المتعارف عليه أن المرء يستطيع توصيف موقع نقطة في المكان بثلاثة أرقام أو إحداثيات. فمثلًا يمكن للمرء أن يقول إن إحدى النقط في غرفة هي على بعد سبعة أقدام من أحد الجدران، وثلاثة أقدام من جدار آخر، وخمسة أقدام فوق الأرضية. أو يستطيع المرء أن يحدِّد أن إحدى النقط هي عند خط عرض وخط طول معينَيْن وعند ارتفاع معين فوق سطح البحر. وللمرء حرية اختيار أي ثلاث إحداثيات ملائمة، وإن كان لها نطاق محدود من صحة الاستخدام. فلن يحدِّد المرء موضع القمر بحدود من

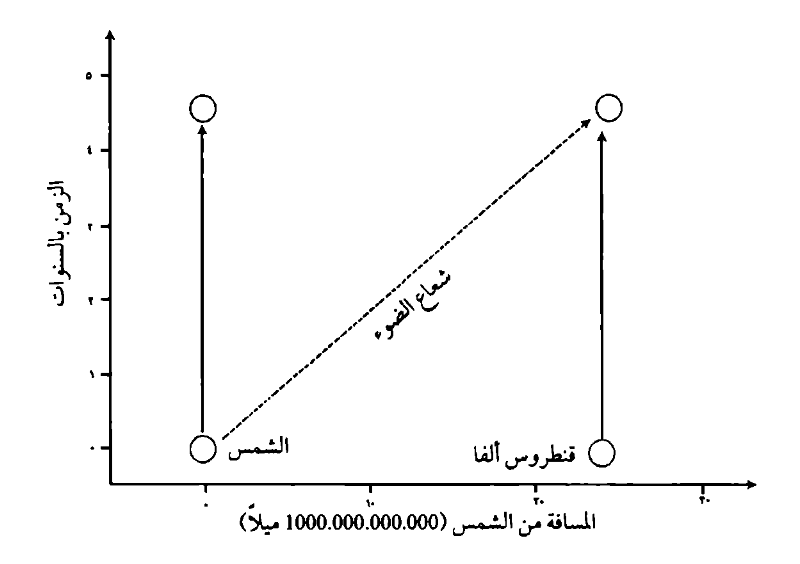
الأميال شمال وغرب ميدان بيكاديللي[1] والأقدام التي يرتفع بها على سطح البحر. وبدلًا من ذلك، فإن للمرء أن يوصِّفه بحدود من البعد عن الشمس، والبعد عن مستوى أفلاك الكواكب، والزاوية بين خط يصل القمر بالشمس وخط يصل الشمس بنجم قريب مثل قنطروس ألفا. وحتى هذه الإحداثيات لن تكون ذات فائدة كبيرة في توصيف موقع الشمس في مجرتنا أو موضع مجرتنا في المجموعة المحلية من المجرات. والحقيقة، أن المرء قد يوصِّف الكون كله بحدود من مجموعة من الرقع المتداخلة. يستطيع المرء في كل رقعة أن يستخدم مجموعة من ثلاثة إحداثيات لتعيين موضع إحدى النقاط.

الحدث هو شيء يحدث عند نقطة معينة في المكان وعند زمن معين. وهكذا يستطيع المرء أن يحدِّده بأربعة أرقام أو إحداثيات. ومرة أخرى، فإن اختيار الإحداثيات أمر اعتباطي؛ فيستطيع المرء أن يستخدم أي ثلاثة إحداثيات مكانية محدَّدة جيدًا وأي مقياس للزمان. وليس في النسبية تمييز حقيقي بين إحداثيات المكان والزمان. تمامًا مثلما لا يوجد أي فارق حقيقي بين أي إحداثيتين للمكان. ويستطيع المرء أن يختار مجموعة جديدة من الإحداثيات يكون فيها أول إحداثيات المكان، مثلًا، توليفة من الإحداثيتين المكانيتين القديمتين الأول والثاني. فمثلًا، بدلًا من قياس موضع نقطة على الأرض بالأميال شمال بيكاديللي وغرب بيكاديللي، فإنه

(1) ميدان شهير في لندن.

يمكن للمرء أن يستخدم الأميال شمال شرق بيكاديللي، والأميال شمال غرب بيكاديللي. وبالمثل فإنه في النسبية يمكن للمرء أن يستخدم إحداثية جديدة للزمان هو الزمان القديم (بالثواني) زائد المسافة (بالثانية الضوئية) شمال بيكاديللي.

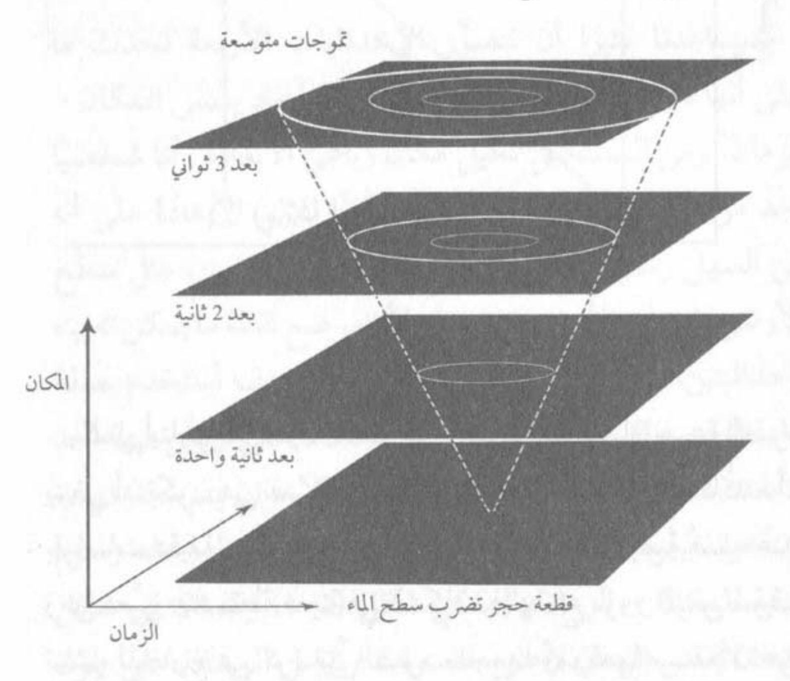
سيساعدنا كثيرًا أن نتصوَّر الإحداثيات الأربعة لحدث ما على أنها تعيِّن موضعه في فضاء ذي أربعة أبعاد يسمَّى المكان - الزمان. ومن المستحيل تخيُّل مكان رباعي الأبعاد، وأنا شخصيًا أجد من الصعوبة أن يتصوَّر المرء مكانًا ثلاثي الأبعاد! على أنه من السهل رسم أشكال بيانية لمسافات ذات بعدين، مثل سطح الأرض. (سطح الأرض ذو بعدين لأن موضع نقطة ما يمكن تعيينه بإحداثيتين، خط العرض وخط الطول). وسوف أستخدم بصفة عامة الرسوم البيانية التي يزيد فيها الزمان لأعلى ويبيَّن فيها أحد الأبعاد المكانية أفقيًا. البعدان المكانيان الآخران يتم تجاهلهما، أو أحيانا يُبيَّن واحد منهما برسم المنظور. (وتسمَّى هذه رسوم بيانية للمكان - الزمان، كما في شكل (2-1) وكمثال في شكل (2-2) يُقاس الزمان لأعلى بالسنوات وتُقاس المسافة على طول الخط من الشمس لقنطروس ألفا أفقيًا بالأميال. ومسارا الشمس وقنطروس ألفا خلال المكان - الزمان تبينهما الخطوط الرأسية التي إلى يسار ويمين الشكل. ويتبع شعاع للضوء من الشمس الخط القطري المائل، ويستغرق أربعة أعوام ليصل من الشمس إلى قنطروس ألفا.



شكل (2-2)

كما رأينا من قبل، فإن معادلات مكسويل تنبّأت بأن سرعة الضوء ينبغي أن تكون هي نفسها مهما كانت سرعة المصدر، وقد تأكّد هذا بقياسات دقيقة. ويترتب على ذلك أنه إذا انبعثت نبضة ضوء عند زمن معيَّن عند نقطة معينة في المكان، فإنها مع مرور الزمن سوف تنتشر للخارج في كرة من الضوء حجمها وموقعها مستقلان عن سرعة المصدر. وبعد جزء من المليون من الثانية يكون الضوء قد انتشر ليكوِّن كرة نصف قطرها 300 مترًا؛ وبعد جزءين من المليون من الثانية، يكون نصف القطر 600 مترًا؛ وهلم جرا. وسيكون الأمر مثل التموّجات التي تنتشر للخارج على سطح بركة عندما يُلقى فيها حجر. وتنتشر التموجات للخارج كدائرة تزداد كبرًا بمرور الوقت.

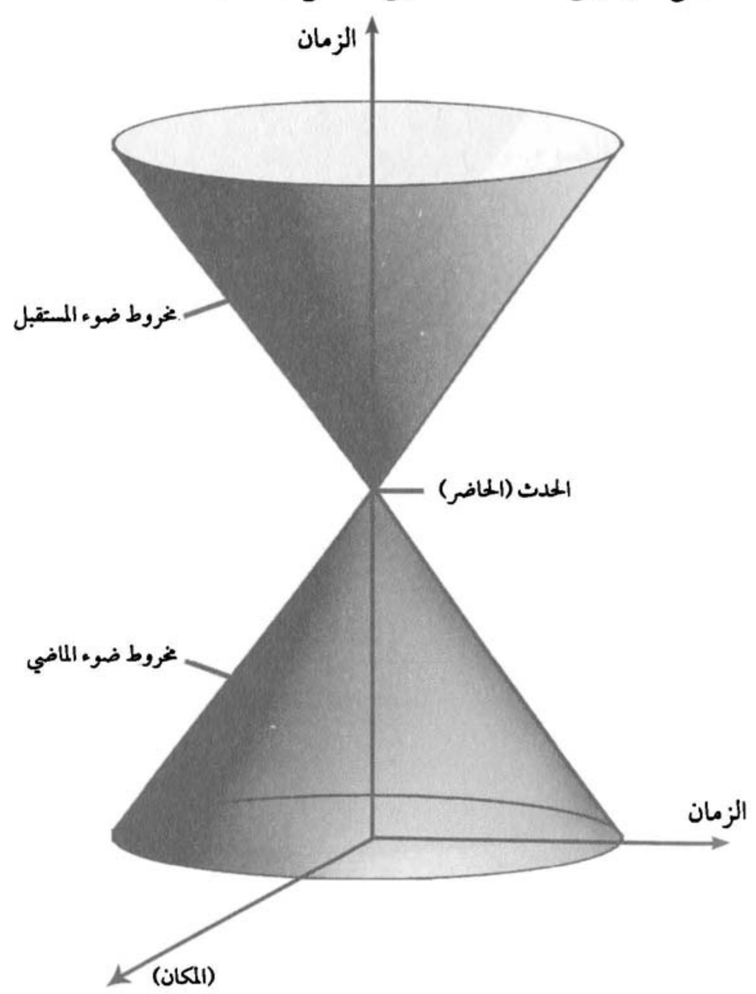
ولو تصوَّر المرء نموذجًا ثلاثي الأبعاد يتكوَّن من سطح البركة ذي البعدين مع البعد الواحد للزمان، فإن دائرة التموجات المتسعة ستحدد مخروطًا طرفه عند المكان والوقت الذي اصطدمت فيه قطعة الحجر بالماء شكل (2-3).



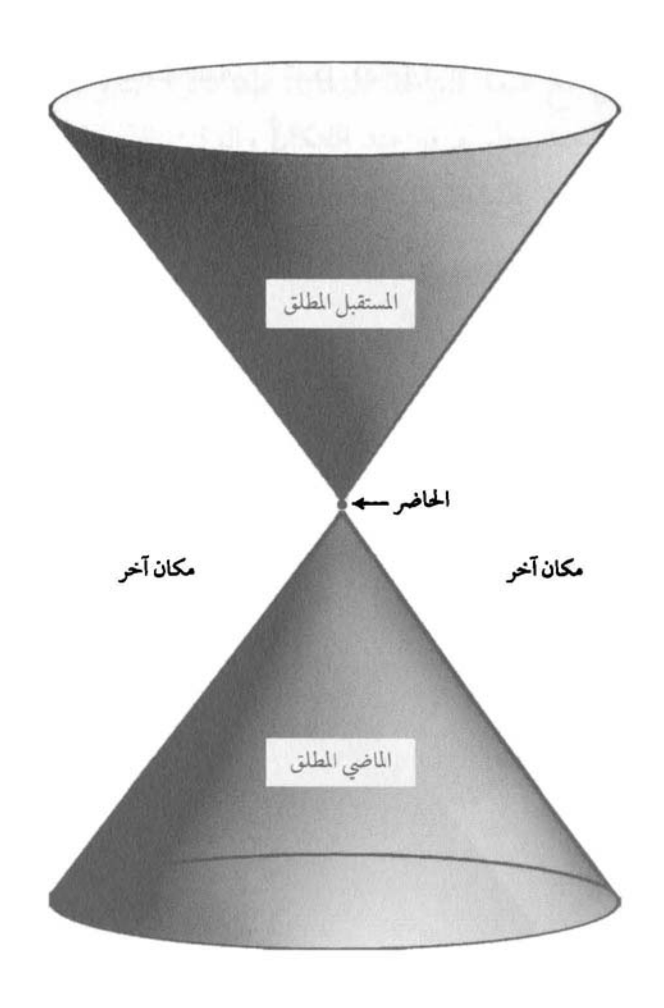
شكل (2-3)

وبالمثل فإن الضوء الذي ينتشر للخارج من حدث ما يشكِّل مخروطًا ثلاثيّ الأبعاد في المكان - الزمان ذي الأبعاد الأربعة. وهذا المخروط يسمَّى مخروط ضوء المستقبل للحدث. ويمكننا بالطريقة نفسها أن نرسم مخروطًا آخر يسمَّى مخروط ضوء

الماضي، وهو مجموعة الأحداث التي يمكن لنبضة ضوء أن تصل منها إلى الحدث المعين. شكل (2-4).



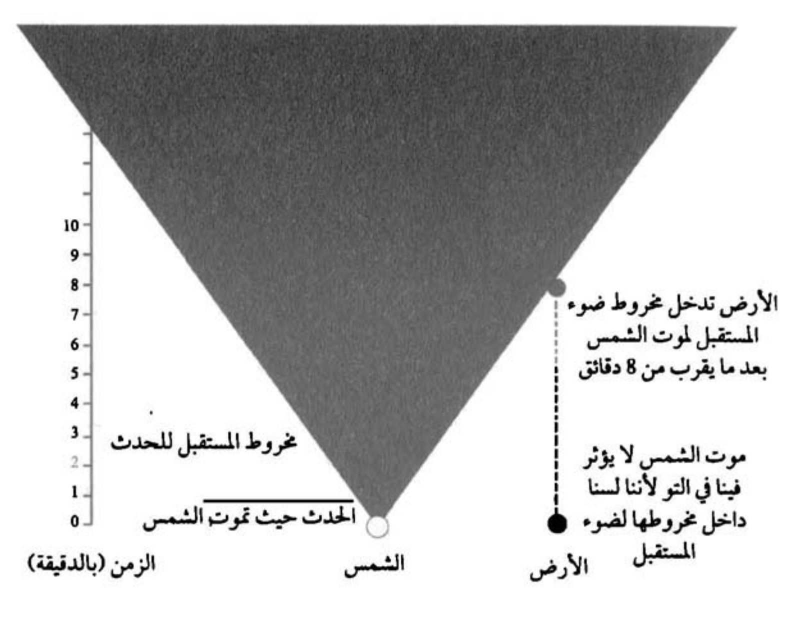
شكل (2-4)



شكل (2-5)

مخروطات ضوء الماضي والمستقبل للحدث P. تقسم المكان - الزمان إلى ثلاث مناطق شكل (2-5) المستقبل المطلق

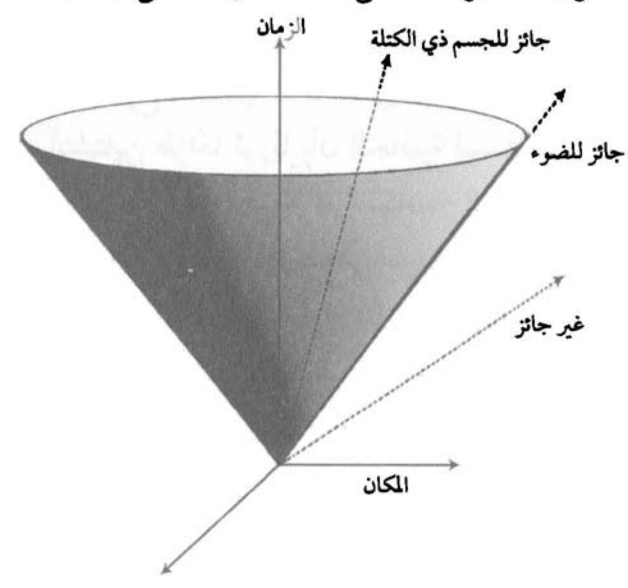
للحدث هـو المنطقة التي من داخل مخروط ضوء المستقبل لـ P. وهو مجموعة كل الأحداث التي يمكن لها في ما يحتمل أن تتأثّر بما يحدث عند P. الأحداث خارج مخروط ضوء P لا يمكن أن تصل إليها إشارات من P لأنه ما من شيء يستطيع الانتقال أسرع من الضوء. وهكذا فإنها لا يمكن أن تتأثّر بما يحدث عند P. والماضي المطلق لـ P وهو المنطقة التي من داخل مخروط ضوء الماضي. وهي مجموعة كل الأحداث التي يمكن لإشارات منها، تنتقل بسرعة تبلغ سرعة الضوء أو تقل عنها، أن تصل إلى P. فهي إذن مجموعة كل الأحداث التي تستطيع في ما يُحتمل أن تؤثّر في ما يحدث عند P. ولو عرف المرء ما يحدث عند وقت معين في كل مكان من منطقة الفضاء التي تقع من داخل مخروط ضوء الماضي لـ P فإن المرء يستطيع أن يتنبأ بما سيحدث عند P. والمكان الآخر Else where هو منطقة المكان - الزمان التي لا تقع داخل مخروط ضوء المستقبل أو الماضي لـ P. الأحداث في المكان الآخر لا يمكن أن تؤثر أو تتأثر بالأحداث عند P. وكمثال، فلو أن الشمس كانت ستتوقّف عن الإضاءة في هذه اللحظة نفسها، فإنها لن تؤثر في الأشياء على الأرض في الوقت الحالي، لأن هذه الأشياء ستكون في المكان الآخر بالنسبة للحدث عندما تنطفئ الشمس شكل (2-6).



شكل (2-6)

لن نعرف بالأمر إلا بعد ثماني دقائق، وهو الوقت الذي يستغرقه الضوء ليصلنا من الشمس. وعندها فقط تقع الأحداث التي على الأرض داخل مخروط ضوء مستقبل الحدث الذي انطفأت الشمس عنده. وبالمثل، فإننا لا نعرف ماذا يحدث في اللحظة الحالية بعيدًا في الكون: فالضوء الذي نراه من المجرات البعيدة قد تركها منذ ملايين السنين، وفي حالة ما نراه من الأشياء التي على أقصى بعد منًّا، يكون الضوء قد بارحها من نحو ثمانية آلاف مليون سنة. وهكذا فإننا عندما ننظر إلى الكون فنحن نراه كما كان في الماضي.

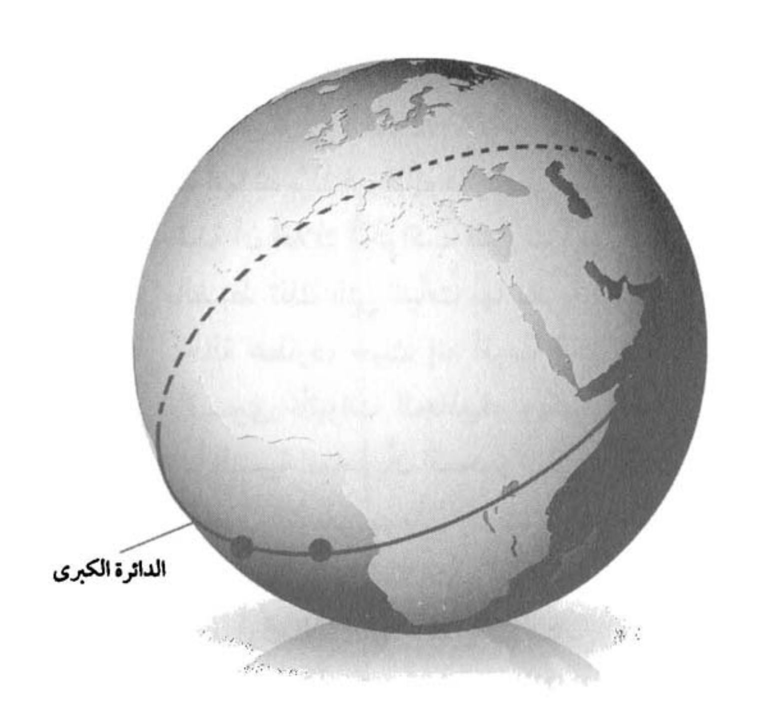
لو أهمل المرء تأثيرات الجاذبية، كما فعل آينشتاين وبوانكاريه في عام 1905، فإنه يحصل على ما يسمّى النظرية النسبية الخاصة. يمكننا أن ننشئ لكل حدث في المكان - الزمان مخروط ضوء (مجموعة كل مسارات الضوء الممكنة في المكان - الزمان والتي تنبعث عند الحدث)، وحيث إن سرعة الضوء تكون هي نفسها عند كل حدث وفي كل اتجاه، فإن كل مخروطات الضوء ستكون متماثلة وستشير كلها إلى الاتجاه نفسه. تخبرنا النظرية أيضًا أن شيئًا لا يمكن أن ينتقل أسرع من الضوء. ويعني هذا أن مسار أي شيء خلال المكان والزمان يجب أن يتم تمثيله بخط يقع من داخل مخروط الضوء عند كل حدث عليه. شكل (2-7).



شكل (2-7)

نظرية النسبية الخاصة نجحت جدًا في تفسير أن سرعة الضوء تبدو هي نفسها لكل الملاحظين (كما بيَّنت تجربة ميكلسون – مورلي) وفي توصيف ما يحدث عندما تتحرَّك الأشياء بسرعات مقاربة لسرعة الضوء. على أنها كانت غير متوافقة مع نظرية نيوتن للجاذبية التي تقول إن الأشياء يجذب أحدها الآخر بقوة تعتمد على المسافة التي بينها. ويعني هذا أنه لو حرَّك المرء أحد الأشياء، فإن القوة التي على الشيء الآخر ستتغيَّر في التو. أو بكلمات أخرى، فإن تأثيرات الجاذبية يبتغي أن تنتقل بسرعة لا متناهية، بدلًا من أن تكون بسرعة الضوء أو أقل منه، كما تتطلَّب نظرية النسبية الخاصة. قام آينشتاين بعدة محاولات فاشلة بين 1908 و1914 للعثور على نظرية للجاذبية تتوافق مع النسبية الخاصة. وأخيرًا فإنه في عام 1915 اقترح ما نسميه الآن النظرية العامة للنسبية.

طرح آينشتاين طرحًا ثوريًا بأن الجاذبية ليست قوة مثل سائر القوى، ولكنها تنتج عن حقيقة أن المكان – الزمان ليس مسطَّحًا كما كان يفترض من قبل: وإنما هو منحنٍ، أو «معوجّ»، بسبب توزيع الكتلة والطاقة فيه. فالأجسام مثل الأرض لم تُجعل لتتحرَّك على أفلاك منحنية بسبب قوة تدعى الجاذبية؛ وبدلًا من ذلك فإنها تتبع أقرب شيء للمسار المستقيم في المكان المنحني، وهو ما يسمَّى الجيوديسي Geodesic . والجيوديسي هو أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين متجاورتين. وكمثال، فإن سطح الأرض هو مكان منحنٍ ذو بعدين، والجيوديسي على الأرض يسمَّى الدائرة الكبرى، وهو أقصر طريق بين نقطتين شكل (2–8).



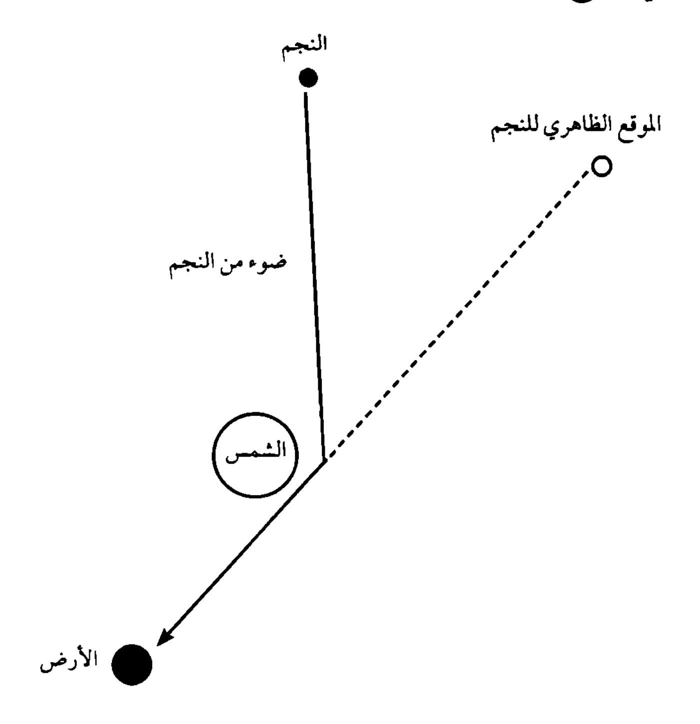
شكل (2-8)

ولما كان الجيوديسي هو أقصر طريق بين أي مطارين، فإنه هو الطريق الذي يخبر به ملاح الخط الجوى طيَّاره حتى يطير فيه. في النسبية العامة، تتبع الأجسام دائمًا خطوطًا مستقيمة في المكان - الزمان ذي الأبعاد الأربعة، ولكنها مع ذلك تبدو لنا على أنها تتحرَّك على مسارات منحنية في فراغنا ذي الأبعاد الثلاثة. (ويكاد هذا يشبه مراقبة طائرة تطير فوق أرض ذات تلال. ورغم أنها تتبع خطًا مستقيمًا في المكان ذي الأبعاد الثلاثة، إلا أن ظلها يتبع مسارًا منحنيًا على الأرض ذات البعدين).

كتلة الشمس تُحني المكان - الزمان بحيث إنه رغم اتباع الأرض مسارًا مستقيمًا في المكان - الزمان ذي الأبعاد الأربعة، إلا أنها تبدو لنا أنها تتحرَّك في فلك دائري في المكان ذي الأبعاد الثلاثة. والحقيقة أن أفلاك الكواكب التي تتنبأ بها النسبية العامة تكاد تماثل بالضبط تلك التي تنبأت بها نظرية نيوتن للجاذبية. على أنه في حالة عطارد، حيث إنه أقرب الكواكب للشمس، فإنه يحس بأقــوى تأثيرات الجاذبية، ويكون له فلك أميل للاستطالة. تتنبأ النسبية العامة بأن المحور الطويل للقطع الناقص ينبغي أن يدور حول الشمس بمعدَّل يقرب من درجة واحدة كل عشرة آلاف سنة. ومع صغر هذا التأثير، فإنه قد لوحظ قبل عام 1915 واعتبر أحد أول الإثباتات لنظرية آينشتاين. وفي السنوات الأخيرة تم قياس ما هو أصغر حتى من ذلك من انحرافات في أفلاك الكواكب الأخرى عن تنبؤات نيوتن وذلك باستخدام الرادار، ووجد أنها تتفق وتنبؤات النسبية العامة.

أشعة الضوء أيضًا لا بد من أن تتبع الجيوديسيات في المكان - الزمان. ومرة أخرى، حقيقة أن المكان منحنٍ تعني أن الضوء لم يعد بعدُ ينتقل في ما يظهر في خطوط مستقيمة في المكان. وهكذا فإن النسبية العامة تتنبَّأ بأن الضوء ينبغي أن تقوِّسه مجالات الجاذبية. وكمثال فإن النظرية تتنبَّأ بأن مخروطات الضوء للنقط القريبة من الشمس تكون مقوَّسة قليلًا للداخل، بسبب كتلة الشمس. ويعني هذا أن الضوء الصادر من نجم بعيد يتفق أن يمر

على مقربة من الشمس سينحرف بزاوية صغيرة، فيجعل النجم يبدو في موقع مختلف للملاحظ على الأرض شكل (2-9).



شكل (2-9)

وبالطبع، لو كان الضوء من النجم يمر دائمًا بالقرب من الشمس فإننا لن نتمكن من معرفة إذا كان الضوء قد انحرف، أو أن النجم بدلًا من ذلك هو حقيقة حيث نراه. على أنه إذ تدور الأرض حول الشمس، تبدو النجوم المختلفة مارة من خلف الشمس ويصبح ضؤوها منحرفًا. هكذا فإنها تغيّر من موقعها الظاهري بالنسبة للنجوم الأخرى.

في الظروف الطبيعية تصعب جدًا رؤية هذا التأثير، لأن الضوء الآتي من الشمس يجعل من المستحيل ملاحظة النجوم التي تظهر في السماء بالقرب من الشمس، على أنه يمكن القيام بذلك أثناء كسوف الشمس، عندما يتم اعتراض ضوء الشمس كلية بواسطة القمر. لم يكن من الممكن اختبار تنبؤ آينشتاين بانحراف الضوء في عام 1915 في التو، ذلك أن الحرب العالمية الأولى كانت قائمة، فلم يتم حتى عام 1919 عندما قامت بعثة بريطانية برصد الكسوف من غرب أفريقيا، وبيَّنت أن الضوء ينحرف حقًا بواسطة الشمس، تمامًا مثلما تنبَّأت به النظرية. وهذا البرهان على نظرية ألمانية بواسطة علماء بريطانيين كان ما رُحِّب به كعمل عظيم للتوفيق بين البلدين بعد الحرب. وما يثير السخرية أن الفحص اللاحق للصور الفوتوغرافية التي التقطتها البعثة قد بيَّن أن ثمَّة أخطاء عظيمة عظم التأثير الذي كانت تحاول قياسه. وقد كان في قياسهم هذا محض حظ، أو أنهم كانوا يعرفون النتيجة التي يريدون الحصول عليها، وهو حدث شائع في العلم. على أن انحراف الضوء تم إثباته بدقة بعدد من المشاهدات اللاحقة.

أحد التنبؤات الأخرى للنسبية العامة هي أن الزمان ينبغي أن يبدو وهو يمضي بسرعة أقل وهو بالقرب من جسم ضخم كالأرض. وسبب ذلك أن هناك علاقة بين طاقة الضوء وتردده (أي عدد موجات الضوء في كل ثانية): فكلما زادت الطاقة، علا التردد. وإذ ينتقل الضوء لأعلى في مجال جاذبية الأرض،

فإنه يفقد طاقة، وهكذا فإن تردده ينخفض. (ويعني هذا أن طول الزمن بين ذروة إحدى الموجات والذروة التالية سيزيد). وبالنسبة لأحد الأفراد في الأعالي، سيبدو له أن كل شيء في أسفل يستغرق وقتًا أطول حتى يحدث. وقد اختُبرت هذه النبوءة في عام 1962ـ باستخدام ساعتين دقيقتين جدًا ثبتتا في قمة وقاع برج ماء[1]. وقد وُجد أن الساعة التي عند القاع، أي الأقرب للأرض، تدور بسرعة أبطأ، وهو ما يتفق بالضبط مع النسبية العامة. والفارق بين سرعة الساعتين على الارتفاعات المختلفة فوق الأرض له الآن أهمية تطبيقية لها قدرها، بحلول نظم الملاحة، بالغة الدقة، التي تتأسَّس على الإشارات المرسلة من الأقمار الصناعية. ولو تجاهل المرء تنبؤات النسبية العامة، فإن الموقع الذي يحسبه سيكون فيه خطأ بأميال عديدة!

وضعت قوانين نيوتن للحركة النهاية لفكرة الموضع المطلق في المكان. وتخلَّصت نظرية النسبية من الزمان المطلق. هيا ننظر الآن أمر التوأمين. فلنفترض أن أحد التوأمين ذهب ليعيش على قمة جبل بينما بقيَ الآخر على مستوى سطح البحر. إن التوأم الأول ستزيد سنّه بسرعة أكبر من الثاني. وهكذا، فلو التقيا ثانية، فإن أحدهما سيكون أكبر سنًا من الآخر. وفي هذه الحالة، سيكون فارق السن ضئيلًا جدًا، إلا أنه سيكون أكبر كثيرًا لو أن أحد

(1) water tower أنبوبة أو برج رأسي لنخزن ما يكفي من الماء على ارتفاع كافٍ لحفظ ضغط معين. (المترجم).

التوأمين مضى في رحلة طويلة في مركب فضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. فهو عندما يعود، سيكون عمره أصغر كثيرًا من التوأم الذي بقيَ على الأرض. ويُعرف هذا باسم مفارقة التوائم، ولكنها مفارقة فقط إذا كان المرء ما زال يحتفظ بفكرة الزمان المطلق في خلفية ذهنه. في نظرية النسبية ليس ثمَّة زمان مطلق فريد، وإنما بدلًا من ذلك يكون لكل فرد مقياسه الزماني الشخصي الخاص به الذي يعتمد على مكان وجوده وكيفية تحركه.

قبل العام 1915، كان يُعتقد أن المكان والزمان مثل ساحة ثابتة، تجري فيها الأحداث، ولكنهما (الزمان والمكان) لا يتأثران بما يقع فيها. وكان هذا يصدق حتى على نظرية النسبية الخاصة. فالأجسام تتحرَّك، والقوى تجذب وتتنافر، ولكن الزمان والمكان هما ببساطة مستمران بلا تأثر. وكان من الطبيعي الاعتقاد بأن المكان والزمان يستمران إلى الأبد.

على أن الموقف يصبح مختلفًا تمامًا في نظرية النسبية العامة. فالمكان والزمان هما الآن كَمَّان ديناميكيان: وعندما يتحرَّك أحد الأجسام أو تعمل إحدى القوى، فإن ذلك يؤثِّر في منحنى المكان والزمان - وبالتالي فإن بنية المكان - الزمان تؤثِّر في الطريقة التي تتحرَّك بها الأجسام وتعمل بها القوى. المكان والزمان ليسا فحسب مؤثّرين بل هما أيضًا يتأثران بكل ما يحدث في الكون. وكما أن المرء لا يستطيع أن يتحدَّث عن أحداث في الكون من دون فكرتَيْ المكان والزمان، فإنه يماثل ذلك تمامًا أنه قد أصبح

مما لا معنى له في النسبية العامة أن نتحدَّث عن المكان والزمان خارج حدود الكون.

في العقود التالية أدى هذا الفهم الجديد للمكان والزمان إلى تثوير نظرتنا للكون. تغيَّرت الفكرة القديمة القائلة بوجود كون لا يتغيَّر مطلقًا، ويمكن أن يستمر في الوجود دائمًا. وحلَّت محلها - إلى الابد - نظرية عن كون متمدِّد ديناميكي يبدو أنه قد بدأ منذ وقت متناهٍ، وقد ينتهي عند وقت متناهٍ في المستقبل. تشكِّل هذه الثورة موضوع الفصل القادم. وقد أصبح ذلك أيضًا في السنوات اللاحقة، نقطة البدء لبحثي في الفيزياء النظرية. بيَّنتُ أنا وروجر بنروز أن نظرية آينشتاين للنسبية العامة تدل على أن الكون لا بد أن له بداية، وربما تكون له نهاية.



(3)

الكون المتمدِّد

إذا نظر المرء إلى السماء في ليلة صافية بلا قمر، فلعل أشد ما يراه سطوعًا هو كواكب الزهرة والمريخ والمشترى وزُحَل. وسيكون هناك أيضًا عدد كبير جدًا من النجوم هي بالضبط مثل شمسنا إلا أنها أبعد منها كثيرًا عنَّا. وبعض هذه النجوم الثابتة يبدو في الحقيقة أنها فعلًا تغيِّر بقدر بسيط جدًا مواقعها، أحدها بالنسبة للآخر إذ تدور الأرض حول الشمس: فهي في الواقع ليست مطلقًا ثابتة! وسبب ذلك أنها قريبة منَّا نسبيًا. إذ تدور الأرض حول الشمس، فإننا نرى هذه النجوم من مواضع مختلفة قبالة خلفية من النجوم الأكثر بعدًا. وهذا من حسن الحظ، أن هذا يمكننا من أن نقيس مباشرة مسافة بُعد هذه النجوم عنَّا: وكلما زادت النجوم قربًا بدا أنها تتحرَّك أكثر. أقرب نجم، المسمَّى القنطروس الأدنى، قد وُجد أنه يبعد بنحو أربع سنوات ضوئية (يستغرق الضوء الخارج منه حوالي أربع سنوات للوصول إلى الأرض)، أو بحوالي ثلاثة وعشرين مليون مليون ميل. معظم النجوم الأخرى التي يمكن رؤيتها بالعين المجرَّدة تبعد عنَّا بمسافات في حدود مئات معدودة

من السنين الضوئية. وللمقارنة، شمسنا على بعد ثماني دقائق ضوئية فحسب! النجوم المرئية تظهر كلها منتشرة عبر سماء الليل، ولكنها تتركَّز بالذات في حزمة واحدة نسمِّيها درب التبانة. منذ زمن طويل يصل إلى عام 1750، اقترح بعض علماء الفلك أنه يمكن تفسير مظهر درب التبانة إذا كانت معظم النجوم المرئية تقع في شكل واحد يشبه القرص، هو أحد أمثلة ما نسميه الآن المجرة اللولبية. بعد عقود معدودة فحسب، أثبت عالم الفلك سير وليام هرتشل فكرته هذه بأن صنَّف بمجهود مثابر مواقع وأبعاد أعداد هائلة من النجوم: وحتى مع هذا فإن الفكرة لم تكتسب قبولًا كاملًا إلا في أوائل هذا القرن.

صورتنا الحديثة عن الكون يرجع تاريخها فقط إلى 1924، عندما برهن عالم الفلك الأمريكي إدوين هابل على أن مجرتنا ليست المجرة الوحيدة. والحقيقة أن هناك مجرات كثيرة أخرى، بينها قطع فسيحة من فضاء خاوٍ. وحتى يثبت ذلك فإنه احتاج إلى تحديد المسافات إلى هذه المجرات الأخرى، وهي بعيدة جدًا بحيث إنها بخلاف النجوم القريبة تبدو في الواقع ثابتة فعلًا. واضطر هابل بسبب ذلك إلى استخدام وسائل غير مباشرة لقياس المسافات. والآن، فإن اللمعان الظاهري لنجم ما يعتمد على عاملَيْن: قدر الضوء الذي يشعّه (ضياؤه) luminosity، وقدر بُعده عنَّا. بالنسبة للنجوم القريبة، فإننا نستطيع قياس لمعانها الظاهري وبُعدها، وهكذا يمكننا حساب ضيائها. وبالعكس، لو عرفنا ضياء

النجوم في المجرات الأخرى، فإنه يمكننا حسب مسافة بعدها بقياس لمعانها الظاهري. لاحظ هابل أن أنواعًا معينة من النجوم لها دائمًا الضياء نفسه عندما تكون على مسافة قريبة منًّا بما يكفي لقياسها؛ وإذن فإنه يحاجج بأننا لو وجدنا نجومًا كهذه في مجرة أخرى، فإننا يمكننا افتراض أن لها الضياء نفسه، وبذلك نحسب مسافة تلك المجرَّة. وإذا أمكننا فعل ذلك بالنسبة إلى عدد من النجوم في المجرة نفسها، وأعطتنا حساباتنا دائمًا المسافة نفسها، فإنه يمكننا أن نثق إلى حدٍّ ما في تقديرنا.

بهذه الطريقة قام هابل بحساب المسافات إلى تسع مجرات مختلفة. ونحن نعرف الآن أن مجرتنا ليست إلا واحدة من مجرات يناهز عددها مائة ألف مليون مما يمكن رؤيته باستخدام التليسكوبات الحديثة، وكل مجرة بذاتها تحوى ما يناهز مائة ألف مليون نجم. ويبيِّن شكل (3–1) صورة مجرة لولبية، تشبه ما نظن أن مجرتنا يجب أن تبدو عليه بالنسبة لشخص يعيش في مجرة أخرى، ونحن نعيش في مجرة يقرب اتساعها من مائة ألف سنة ضوئية، تدور ببطء والنجوم في أذرعها اللولبية تدور حول مركزها بمعدل يقرب من دورة كل عدة مئات من السنين. وشمسنا هي فحسب نجم أصفر عادي ذو حجم متوسط على مقربة من الحرف الداخلي لإحدى الأذرع اللولبية. وهكذا، فنحن بلا شك قد قطعنا طريقًا طويلًا منذ أرسطو وبطليموس، عندما كنا نظن أن الأرض هي مركز الكون!



شكل (3–1): مجرة لولبية.

النجوم بعيدة إلى حد أنها تبدو لنا وكأنها فقط نقاط دقيقة من الضوء. فنحن لا نستطيع رؤية حجمها أو شكلها. إذن فكيف نستطيع تمييز الأنواع المختلفة من النجوم؟ إن الغالبية العظمى من النجوم لها ملمَحٌ واحد متميِّز يمكننا ملاحظته – هو لون ضوئها. وقد اكتشف نيوتن أنه إذا مَرَّ الضوء الآتي من الشمس خلال قطعة من الزجاج مثلَّثة الشكل، تسمَّى الموشور، فإنه ينقسم إلى ألوانه المكوِّنة له (طيفه) كما في قوس قزح. وإذا ضبطنا بؤرة تليسكوب على نجم مفرد أو مجرَّة مفردة، فإن المرء يستطيع بالمثل أن

يرصد طيف الضوء الآتي من النجم أو المجرة. النجوم المختلفة لها أطياف مختلفة، ولكن اللمعان النسبي للألوان المختلفة هو دائمًا بالضبط ما يتوقَّع المرء أن يجده في ضوء ينبعث عن شيء يتوهَّج محمرًّا بالحرارة. (الحقيقة أن الضوء الذي ينبعث عن أي شيء معتم يتوهَّج محمرًّا بالحرارة يكون له طيف متميِّز يعتمد فقط على درجة حرارته - طيف حراري. ويعني هذا أننا يمكننا أن نعرف درجة حرارة النجم من طيف ضوئه). وفوق ذلك، فإننا نجد أن بعض الألوان الخاصة جدًّا تغيب عن أطياف النجوم، وهذه الألوان الغائبة قد تتابين من نجم لآخر. ولمَّا كنَّا نعرف أن كل عنصر كيماوي يمتص مجموعة مميزة من الألوان الخاصة جدًا، فإنه بمضاهاة هذه مع تلك الغائبة من طيف أحد النجوم، يمكننا أن نحدِّد بالضبط أي العناصر تكون موجودة في جو النجم.

عندما بدأ علماء الفلك ينظرون إلى أطياف النجوم في المجرات الأخرى في العشرينيات من القرن العشرين، وجدوا أمرًا في منتهى الغرابة: فقد كان هناك المجموعات المميَّزة نفسها من الألوان الغائبة، كما بالنسبة للنجوم في مجرتنا نفسها، ولكنها كانت جميعًا مزحزحة بالقدر النسبي نفسه تجاه الطرف الأحمر من الطيف. ولنفهم مغزى ذلك، ينبغي أولًا أن نفهم (ظاهرة دوبلر - Doppler effect). كما قد رأينا، فإن الضوء المرئي يتكوَّن من تذبذبات، أو موجات، في المجال الكهرومغناطيسي. وتردد الضوء (أو عدد موجاته في كل ثانية) هو تردد عالٍ لأقصى علوّ

يتراوح من أربعمائة إلى سبعمائه مليون مليون موجة في الثانية. وترددات الضوء المختلفة هي ما تراه الأعين البشرية كألوان مختلفة، حيث تظهر أدنى الترددات عند الطرف الأحمر من الطيف وأعلاها عند الطرف الأزرق. والآن، تخيَّل مصدر ضوء على مسافة ثابتة منًّا، مثل أحد النجوم، وهو يبعث موجات ضوء ذات تردد ثابت. من الواضح أن تردد الموجات التي نتلقاها سيكون مماثلًا للتردد الذي تنبعث به (لن يكون مجال جاذبية المجرة كبيرًا بما يكفي لأن يكون له تأثير ذو أهمية). فلنفترض الآن أن مصدر الضوء بدأ يتحرَّك تجاهنا. عندما يبعث المصدر ذروة الموجة التالية فإنه سيكون أقرب لنا، وهكذا فإن الوقت الذي تستغرقه ذروة الموجة التالية حتى تصل إلينا سيكون أقل مما تستغرقه لو كان النجم ثابتًا. يعني هذا أن الوقت بين ذروتي الموجتين الواصلتين إلينا سيكون أقصر، وبالتالي فإن عدد الموجات التي نتلقاها في كل ثانية (أي التردد) يكون أعلى مما لو كان النجم ثابتًا. وبالمقابل، إذا كان المصدر يتحرك بعيدًا عنا، فإن تردد الموجات التي نتلقاها سيكون أقل. في حالة الضوء إذن، سيعني هذا أن النجوم التي تتحرك بعيدا عنا ستكون أطيافها مزحزحة تجاه الطرف الأحمر من الطيف (إزاحة حمراء) والنجوم التي تتحرَّك تجاهنا ستكون أطيافها مزحزحة للأزرق. وهذه العلاقة بين التردد والسرعة، والتي تسمَّى ظاهرة دوبلر، هي من خبرات الحياة اليومية، استمع إلى عربة تمر على الطريق: أثناء اقتراب العربة، يكون صوت محرِّكها عالي الطبقة (موافقًا للتردد

العالي لموجات الصوت)، وعندما تمر العربة ثم تولِّي مبتعدة فإن صوتها يكون منخفض الطبقة. سلوك موجات الضوء أو الراديو مماثل. والحقيقة أن الشرطة تستفيد من ظاهرة دوبلر لقياس سرعة السيارات، بأن تقيس تردد نبضات موجات الراديو المنعكسة عن السيارات.

في السنوات التي تلت إثبات هابل لوجود مجرات أخرى، أنفق هابل وقته في تصنيف مسافاتها ورصد أطيافها. كان معظم الناس في ذلك الوقت يتوقَّعون أن المجرات تتحرَّك حركة عشوائية تمامًا، وهكذا فإنهم توقَّعوا أن يجدوا عدد الأطياف ذات الإزاحة الزرقاء مساوية لتلك ذات الإزاحة الحمراء. وإذن فقد كان من المفاجئ أن نجد أن معظم المجرَّات ذات إزاحة حمراء: فكلها تقريبًا تتحرَّك بعيدًا عنَّا! بل والأكثر مفاجأة اكتشاف هابل الذي نُشر في عام 1929: فحتى حجم الإزاحة الحمراء لمجرة ما لم يكن عشوائيًا، ولكنه يتناسب طرديًا مع بُعد المجرة عنَّا. أو بكلمات أخرى، كلما زادت المجرة بُعدًا، زادت سرعة تحركها بعيدًا! وهذا يعني أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيًا، كما كان كل واحد يظن فيما سبق، وإنما هو في الحقيقة يتمدَّد؛ والمسافة بين المجرات المختلفة تزيد طول الوقت.

اكتشاف أن الكون يتمدَّد هو إحدى الثورات الفكرية العظيمة في القرن العشرين. وبالتأمل في ما حدث في الماضي، فإن من السهل التعجب لأن أحدًا لم يفكر في ذلك من قبل: فقد كان

ينبغي على نيوتن وغيره أن يتبيَّنوا أنّ كونًا استاتيكيًا لن يلبث أن يبدأ سريعًا في الانكماش بتأثير الجاذبية. ولكن لنفرض بدلًا من ذلك أنَّ الكون يتمدَّد. فلو كان يتمدَّد بسرعة بطيئة إلى حد ما، فإن قوة الجاذبية ستجعله في النهاية يتوقَّف عن التمدد ليبدأ بعدها في الانكماش. أما إذا كان يتمدَّد بسرعة أكبر من معدَّلٍ حَرِجٍ معيَّن certain critical rate، فإن الجاذبية لن تكون قوية بما يكفي لوقف تمدده، وسوف يستمر الكون في التمدد إلى الأبد. وهذا يشبه، نوعًا، ما يحدث عندما يطلق أحدهم من فوق سطح الأرض صاروخًا إلى الأعلى. فإذا كانت سرعته بطيئة إلى حد ما، فإن الجاذبية ستوقف الصاروخ في النهاية وسيبدأ في السقوط عائدًا. أمَّا إذا كانت سرعة الصاروخ أكبر من سرعة حَرِجَة معينة (نحو سبعة أميال في الثانية) فإن الجاذبية لن تكون قوية بما يكفي لشدِّه إلى الوراء، وهكذا فإنه سيستمر في الانطلاق بعيدًا عن الأرض إلى الأبد. سلوك الكون هكذا كان يمكن التنبؤ به من نظرية نيوتن عن الجاذبية في أي وقت من القرن التاسع عشر، أو الثامن عشر أو حتى أواخر القرن السابع عشر. إلا أن الإيمان بثبات الكون كان من القوة بحيث ظل باقيًا لأوائل القرن العشرين. وحتى آينشتاين عندما صاغ نظرية النسبية العامة في عام 1915، فإنه كان واثقًا من أن الكون يجب أن يكون استاتيكيًا حتى إنه عدّل نظريته ليصبح ذلك ممكنًا، فأدخل في معادلاته ما سمَّاه «الثابت الكوني». وقد أدخل آينشتاين قوَّة جديدة هي «مضاد الجاذبية»، وهي بخلاف القوى الأخرى، لا تأتي من أي مصدر معين، وإنما هي «مجبولة»

في صميم بنية المكان – الزمان. وزعم أن المكان – الزمان لديه نزعة «مجبولة» للتمدُّد وأنها يمكن أن تُجعل بحيث توازن بالضبط تجاذب كل المادة التي في الكون، بحيث ينتج كون استاتيكي. ويبدو أنه لم يكن هناك غير رجل واحد يريد أن يفهم النسبية العامة حسب معناها الظاهر، وبينما كان آينشتاين وعلماء الفيزياء الآخرون يبحثون عن طريق لتفادي ما تتنبأ به النسبية العامة من كون غير استاتيكي، فإن الفيزيائي والرياضي الروسي ألكسندر فريدمان أخذ بدلًا من ذلك يفسِّر الأمر.

افترض فريدمان فرضَيْن بسيطَّيْن جدًا عن الكون: أن الكون يبدو متماثلًا في أي اتجاه تنظر فيه إليه، وأن هذا يصدق أيضًا لو راقبنا الكون من أي مكان آخر. ومن هاتين الفكرتين وحدهما، بيَّن فريدمان أننا ينبغي ألا نتوقَّع أن يكون الكون ثابتًا. والحقيقة أن فريدمان تنبَّأ في عام 1922 بما وجده أودين هابل بالضبط، وذلك قبل اكتشاف هابل بعدة أعوام!

من الواضح أن افتراض أن الكون يبدو متماثلًا في كل اتجاه هو في الواقع غير حقيقي. فكما رأينا مثلًا، فإن النجوم الأخرى في مجرتنا تشكِّل حزمة واضحة من الضوء عبر سماء الليل، تسمَّى درب التبانة. على أننا إذا نظرنا إلى المجرَّات البعيدة، فسوف يبدو لنا أن عددها ثابت تقريبًا. وهكذا فإن الكون يبدو فعلًا متماثلًا على وجه التقريب في كل اتجاه، بشرط أن ينظر المرء إليه على مقياس كبير بما يقارن بالمسافة بين المجرات، ويتجاهل ما يوجد

من اختلافات على المقاييس الأصغر. ظل هذا لزمن طويل مبررًا كافيًا لفرض فريدمان، بما هو شبه تقريب للكون الواقعي. على أنه حدث أخيرًا أن كشف حادث سعيد عن حقيقة أن افتراض فريدمان هو في الحقيقة توصيف مضبوط لكوننا إلى حدٍّ رائع.

ففي عام 1965 كان أرنو بنزياس وروبرت ويلسون الفيزيائيان الأمريكيان بمعامل تليفون بل في نيوجيرسي، يقومان باختبار كشّاف حسَّاس جـدًا لموجات الميكروويف (موجات الميكروويف تشبه موجات الضوء تمامًا ولكن درجة ترددها تساوي عشرة آلاف مليون موجة في الثانية فقط). وقد انزعج بنزياس و ويلسون حينما وجدا أن كشَّافهما يلتقط ضوضاء أكثر مما ينبغي. ولم يكن يبدو أن الضوضاء تأتي من أي اتجاه بعينه. واكتشفا أول الأمر روث طيور في كشَّافهما ثم اختبراه لاكتشاف أي أسباب أخرى لسوء الأداء، ولكنهما سرعان ما استبعدا كل هذا. كانا يعرفان أن أي ضوضاء تأتي من داخل الغلاف الجوى ستكون أقوى عندما يكون الكشاف غير موجَّه مباشرة إلى أعلى مما كان عليه، ذلك أن أشعة الضوء عند تلقِّيها من قرب الأفق تكون قد تحرَّكت خلال الغلاف الجوي لمسافة أكبر كثيرًا مما لو تم تلقِّيها مباشرة فوق الرأس. كانت الضوضاء الزائدة متماثلة أينما كان الاتجاه الذي يشير إليه الكشَّاف، وهكذا فإنها لا بد أن تأتي من «خارج» الغلاف الجوي. وكانت الضوضاء أيضًا متماثلة نهارًا وليلًا وخلال السنة كلها، رغم دوران الأرض حول محورها

ودورانها حول الشمس. وهذا يبيِّن أن الإشعاع آتٍ ولا بد من وراء النظام الشمسي، بل من وراء المجرة، وإلا فإنه كان سيتغيَّر عندما توجِّه حركةُ الأرض الكشَّافَ في اتجاهات مختلفة.

والحقيقة أننا نعرف أن هذا الإشعاع لا بد أنه انتقل إلينا عبر معظم الكون القابل للرصد، ولمَّا كان يبدو متماثلًا في الاتجاهات المختلفة فإن الكون أيضًا لا بد متماثل في كل اتجاه، وذلك فقط على المقياس الكبير. ونحن نعرف الآن أنه أيًا كان الاتجاه الذي ننظر إليه، فإن هذه الضوضاء لا تتغير أبدًا بأكثر من جزء من العشرة آلاف، وهكذا فإن بنزياس وويلسون قد عثرا، عن غير عمد، على إثبات صحيح بصورة رائعة لافتراض فريدمان الأول.

على أنه نتيجة لأن الكون ليس متماثلًا بالضبط في كل اتجاه، وإنما هو متماثل في المتوسط بالمقياس الكبير، فإن الموجات الميكروويية (الميكروويفات) لا يمكن أيضًا أن تكون متماثلة بالضبط في كل اتجاه. لا بد من وجود اختلافات طفيفة بين الاتجاهات المختلفة. تم الكشف عن هذه الاختلافات لأول مرة في عام 1992 بواسطة القمر الصناعي «كوب، قمر استكشاف الخلفية الكونية»، وذلك بمستوى يقرب من جزء واحد من المائة ألف. هذه الاختلافات وإن كانت صغيرة هكذا، إلا أنها مهمة جدًا، وهذا ما سيتم تفسيره في الفصل الثامن.

في الوقت نفسه تقريبًا كان الفيزيائيان الأمريكيان بوب ديك وجيم بيبلز، في جامعة برنستون القريبة، يبديان أيضًا اهتمامًا

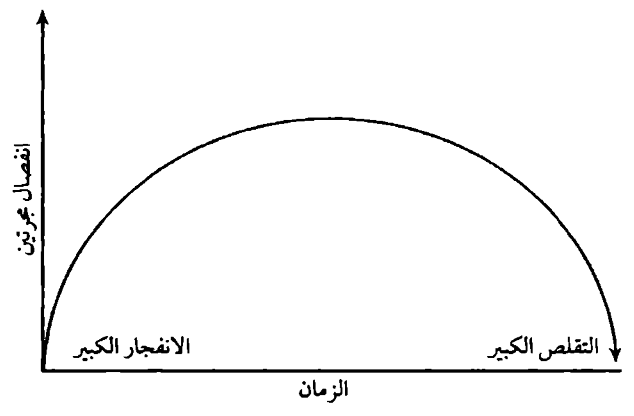
بموجات الميكروويف. وكانا يبحثان فرضًا لجورج جاموف (الذي كان فيما مضى أحد طلاب ألكسندر فريدمان)، بأن الكون المبكِّر لا بد أنه كان بالغ السخونة والكثافة، وأنه كان يتوهَّج بالحرارة حتى البياض. وقد حاجج ديك وبيبلز بأنه ينبغي أن يكون في إمكاننا حتى الآن رؤية وهج الكون المبكر، لأن الضوء الآتي من أجزائه البعيدة جدًا سيصلنا الآن فحسب. على أن تمدُّد الكون يعني أن هذا الضوء ينبغي أن يكون ذي إزاحة حمراء إلى حدٍّ عظيم بحيث أنه سيظهر لنا الآن كإشعاع من موجات الميكروويف. وكان ديك وبيبلز يتأهَّبان للبحث عن هذا الإشعاع عندما سمع بنزياس وويلسون عن بحثهما فتبينا أنهما قد عثرا عليه بالفعل. وقد كُوفئ بنزياس وويلسون على ذلك بجائزة نوبل في عام 1978 (وهو ما يبدو صعبًا بعض الشيء على ديك وبيبلز، دع عنك جاموف!).

والآن، للوهلة الأولى فإن هذا الدليل على أن الكون يبدو متماثلًا مهما كان الاتجاه الذي ننظر فيه، قد يبدو وكأنه يطرح أن هناك شيئًا ما خاصًا في ما يتعلَّق بمكانتنا في الكون. وقد يبدو بالذات، أننا عندما نلاحظ أن كل المجرات الأخرى تتحرَّك بعيدًا عنَّا، فإننا إذن ولا بد في مركز الكون. على أن هناك تفسيرًا بديلًا: فقد يبدو الكون متماثلًا في كل اتجاه إذا نظرنا إليه أيضًا من أي مجرة أخرى. وهذا، كما قد رأينا، هو افتراض فريدمان الثاني. ليس لدينا دليل علمي يؤكِّد هذا الافتراض أو ينفيه. ونحن نؤمن

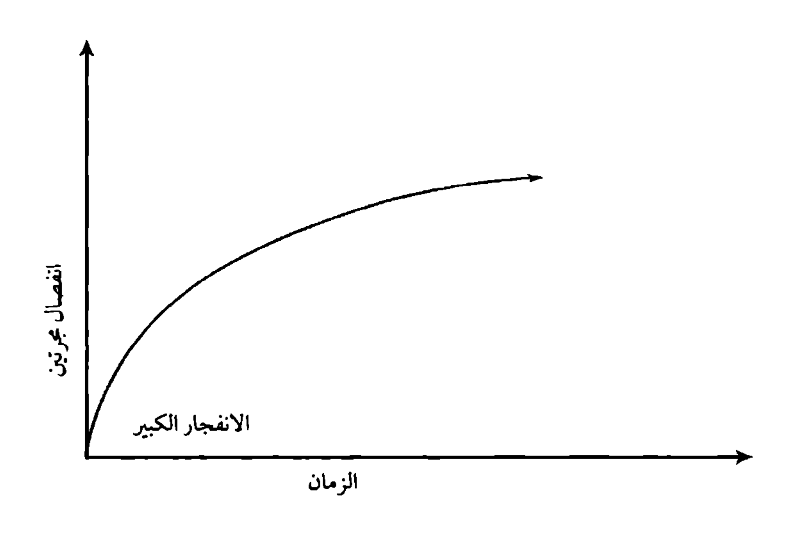
به فحسب بدافع التواضع: كما سيكون الأمر بالغ الروعة لو كان الكون يبدو متماثلًا في كل اتجاه من حولنا، ولكنه لن يكون متماثلًا حول النقاط الأخرى في الكون! في نموذج فريدمان، تتحرَّك كل المجرات مباشرة إحداها بعيدًا عن الأخرى. والموقف يكاد يشبه بالونة قد دُهن عليها عدد من البقع، وهي تُنفخ باطراد. إذ تتمدَّد البالونة، فإن المسافة بين أي بقعتين تتزايد، ولكن ما من بقعة يمكن القول بأنها مركز التمدّد. وفوق ذلك، كلما تباعدت البقع، زادت سرعة تحركها في تباعد. وبالمثل، فإنه في نموذج فريدمان تكون السرعة التي تتحرَّك بها أي مجَرّتين في تباعد متناسب مع المسافة بينهما. وهكذا فإنه يتنبَّأ بأن الإزاحة الحمراء لإحدى المجرات ينبغي أن تتناسب طرديًا مع المسافة بيننا وبين المجرة، وهو ما وجده هابل بالضبط. رغم نجاح نموذج فريدمان وتنبؤه بمشاهدات هابل، فإن عمل فريدمان ظل مجهولًا على نطاق واسع في الغرب حتى تم اكتشاف نماذج مماثلة عام 1935 بواسطة الأمريكي هوارد روبرتسون والرياضي البريطاني آرثر ووكر، كرد فعل لاكتشاف هابل أن الكون يتمدَّد تمددًا متَّسقًا.

رغم أن فريدمان اكتشف فقط نموذجًا واحدًا، فإن هناك في الحقيقة ثلاثة أنواع مختلفة من النماذج تخضع لفَرضَيْ فريدمان الأساسيين. في النوع الأول (الذي اكتشفه فريدمان) يتمدَّد الكون بسرعة بطيئة بما يكفي لأن يسبِّب شد الجاذبية بين المجرات المختلفة إبطاء التمدُّد حتى يتوقَّف في النهاية. ثم تبدأ المجرات

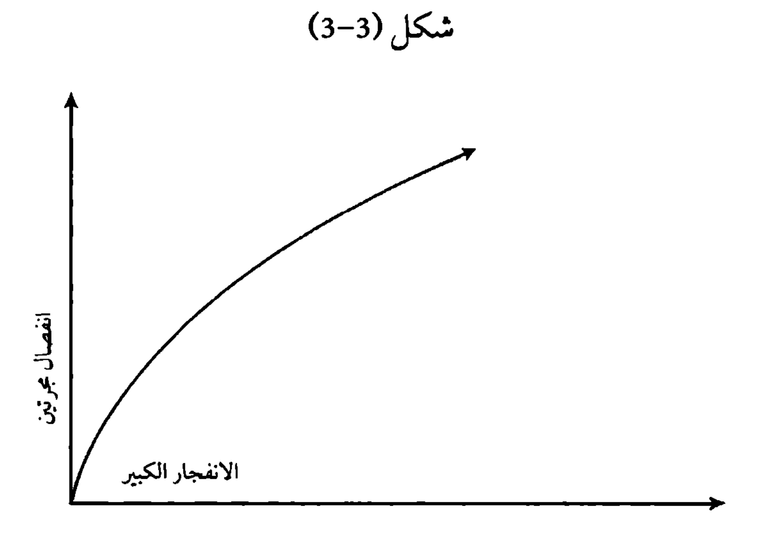
في التحرك إحداها نحو الأخرى وينكمش الكون. وشكل (3-2) يبيِّن كيف تتغيَّر المسافة بين مجرتين متجاورتين كلما طال الزمان. تبدأ المسافة بصفر، وتزيد لتصل إلى حدٍّ أقصى، ثم تنقص إلى الصفر ثانية. في النوع الثاني من الحلول، يتمدَّد الكون بسرعة بحيث إن شد الجاذبية لا يستطيع قط إيقاف التمدُّد، وإن كان فعلًا يبطئه نوعًا. وشكل (3-3) يبيِّن التباعد بين المجرات المتجاورة في هذا النموذج. وهو يبدأ عند الصفر وفي النهاية تتحرَّك المجرات متباعدة بسرعة مطردة. وأخيرًا هناك نوع ثالث من الحلول، يتمدَّد فيه الكون بسرعة تكفي فقط لتجنُّب العودة إلى التقلص. وفي هذه الحالة فإن التباعد كما يبيِّنه شكل (3-4) يبدأ أيضًا بصفر ثم يتزايد أبدًا. على أن السرعة التي تتحرَّك بها المجرات متباعدة تصبح أصغر وأصغر، وإن كانت لا تصل قط إلى الصفر تمامًا.



شكل (3-2)



شكل (3-3)



شكل (3-4)

من الملامح البارزة للنوع الأول من نموذج فريدمان أن الكون

ليس لا متناهيًا في المكان، على أن المكان ليس له أي حد. فمن فرط قوة الجاذبية قد ينحني المكان على نفسه، بما يجعله يشبه نوعًا سطح الأرض. عندما يداوم المرء على التحرك في اتجاه معين على سطح الأرض، فإنه لا يلقى إزاءه قط عقبة من حاجز لا يمكن المرور منه، ولا يهوي من فوق حرف، وإنما هو يصل ثانية إلى حيث بدأ. في نموذج فريدمان الأول، فإن المكان يشبه ذلك تمامًا، ولكنه بثلاثة أبعاد بدلًا من بعدين كما في سطح الأرض. والبعد الرابع، الزمان، هو أيضًا متناهٍ في مداه، ولكنه يشبه خطًا له طرفان أو حدَّان، بداية ونهاية. وسوف نرى فيما بعد أنه عندما يجمع المرء النسبية العامة مع مبدأ الريبة في ميكانيكا الكم. يصبح من الممكن لكل من المكان والزمان أن يكونا متناهيين دون أي حروف أو حدود.

فكرة أن المرء يمكن أن يدور مباشرة حول الكون لينتهي إلى حيث بدأ فيها ما يصلح لرواية خيال علمية جيدة، ولكن ليست لها دلالة عملية كبيرة، لأن من الممكن إيضاح أن الكون سيتقلَّص ثانية إلى حجم الصفر قبل أن يتمكَّن المرء من الدوران حوله. وسوف تحتاج إلى أن تنتقل بسرعة أسرع من الضوء حتى تصل إلى حيث بدأت قبل أن يأتي الكون إلى نهايته، وهذا ليس مسموحًا به!

في النوع الأول من نموذج فريدمان، الذي يتمدَّد ثم يتقلَّص ثانية، يكون المكان منحنيًا على نفسه، مثل سطح الأرض. وبهذا

فإنه متناهٍ في مداه. في النوع الثاني من النموذج الذي يتمدَّد إلى الأبد، فإن المكان ينحني للناحية الأخرى، مثل سطح السرج. وفي هذه الحالة، يكون المكان إذن غير متناهٍ. وأخيرًا، في النوع الثالث من نموذج فريدمان، الذي تكون سرعته في التمدُّد هي السرعة الحرجة بالضبط، فإن المكان يكون مسطَّحًا (وإذن فهو أيضًا لا متناه).

ولكن أي نماذج فريدمان هو الذي يوصِّف كوننا؟ هل سيتوقَّف الكون في النهاية عن التمدُّد ويبدأ في الانكماش، أم أنه سيتمدَّد إلى الأبد؟ للإجابة عن هذا السؤال نحتاج أن نعرف سرعة تمدد الكون الحالية، ومتوسط كثافته الحالية. فإذا كانت الكثافة أقل من قدر حرج معين، يتحدَّد بمعدل التمدد، فإن شد الجاذبية سيكون أضعف من أن يوقف التمدُّد. وإذا كانت الكثافة أكبر من القدر الحرج، فإن الجاذبية سوف توقف التمدد في وقت ما في المستقبل وتسبِّب تقلُّص الكون ثانية.

نحن نستطيع تحديد المعدَّل الحالي للتمدد بقياس السرعات التي تتحرَّك بها المجرات الأخرى مبتعدة عنَّا، مستخدمين ظاهرة دوبلر. ويمكن إنجاز ذلك على نحو دقيق جدًا. على أن المسافات بين المجرات ليست معروفة على نحو جيد جدًا لأننا لا نستطيع قياسها إلا بطرق غير مباشرة. وهكذا فإن كل ما نعرفه هو أن الكون يتمدَّد بما يتراوح بين 5 و 10 في المائة في كل ألف مليون سنة. على أن ما لدينا من عدم التأكد بشأن متوسط كثافة الكون حاليًا

لهو الأعظم. وإذا جمعنا كتل كل النجوم التي يمكننا رؤيتها في مجرتنا والمجرات الأخرى، فإن المجموع يقل عن واحد في المائة من القدر المطلوب لإيقاف تمدد الكون، حتى بالنسبة لأدنى تقدير لسرعة التمدد. على أن مجرتنا والمجرات الأخرى تحوي قدرًا كبيرًا من «المادة المظلمة»، التي لا يمكننا رؤيتها مباشرة، وإنما نعرف أنها يجب أن تكون موجودة بسبب تأثير شد جاذبيتها على أفلاك النجوم في المجرات. وإضافة إلى ذلك، فإن معظم المجرات توجد في تجمعات عنقودية، ويمكننا بالمثل استنتاج وجود مزيد من المادة المظلمة في ما بين المجرات التي في هذه العناقيد، وذلك بواسطة تأثيرها على حركة المجرات. وإذا جمعنا كل هذه المادة المظلمة فإننا لا نحصل بعد إلا على نحو عُشر القدر المطلوب لوقف التمدُّد. على أننا لا نستطيع استبعاد إمكانية وجود شكل آخر للمادة، يتوزَّع بما يكاد يكون توزيعًا متسقًا على الكون كله، شكلًا لم نكتشفه بعد هو مع ذلك مما قد يرفع متوسط كثافة الكون إلى القيمة الحرجة اللازمة لإيقاف التمدد. وإذن فإن ما لدينا من براهين يدل على أن الكون ربما سوف يتمدَّد إلى الأبد، إلا أن كل ما يمكننا الوثوق به حقًا هو أنه حتى لو كان الكون سيتقلص ثانية، فإنه لن يفعل ذلك لمدة تصل إلى عشرة آلاف مليون سنة أخرى، حيث إنه ظل يتمدَّد من قبل لزمن يبلغ على الأقل هذا الطول. ينبغي ألا يزعجنا ذلك بغير داع: فبعد مرور هذا الوقت، ما لم نكن قد استعمرنا ما وراء النظام الشمسي، فإن الجنس البشري سيكون قد فنيَ منذ زمن طويل؛ سيندثر مع شمسنا!

سنجد في كل حلول فريدمان ملمحًا بأنه في وقت ما من الماضي (منذ ما بين عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة) كانت المسافة بين المجرات المتجاورة لا بد أن تساوي صفرًا. وفي هذا الوقت، الذي نسميه الانفجار الكبير، تكون كثافة الكون ومنحنى المكان - الزمان لا متناهيين. ولمَّا كانت الرياضيات لا تستطيع في الواقع تناول الأرقام اللا نهائية، فإن هذا يعني أن نظرية النسبية العامة (التي تأسَّست عليها حلول فريدمان) تتنبأ بأن ثمَّة نقطة في الكون تنهار عندها النظرية نفسها. وهذه النقطة هي مثل ما يسميه الرياضيون المتفرِّدة Singularity. والحقيقة أن كل نظرياتنا العلمية قد صيغت على افتراض أن الزمان - المكان مستوٍ ويكاد يكون مسطحًا، وهكذا فإنها تنهار عند متفرِّدة الانفجار الكبير، حيث يكون منحنى المكان - الزمان لا متناهٍ. ويعني هذا أنه حتى لو كانت هناك أحداث قبل الانفجار الكبير، فإن المرء لا يستطيع استخدامها لتحديد ما سيحدث بعدها، لأن القدرة على التنبؤ تنهار عند الانفجار الكبير.

وبالمقابل، إذا كنَّا نعرف فقط، كما هو الحال فعلًا، ما قد حدث منذ الانفجار الكبير، فإننا لا نستطيع أن نحدد ما حدث قبل ذلك، وبقدر ما يخصنا، فالأحداث قبل الانفجار الكبير لا يمكن أن تكون لها نتائج، وهكذا فإنها ينبغي ألا تشكِّل جزءًا من أي نموذج علمي عن الكون. وإذن ينبغي أن نحذفها من النموذج ونقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير.

ثمَّة أناس كثيرون لا يحبِّذون فكرة أن الزمان له بداية، وربما كان ذلك لأن فيها مجالًا لتدخل إلهي. (من الجانب الآخر نجد أن الكنيسة الكاثوليكية قد تمسَّكت بنموذج الانفجار الكبير وأعلنت رسميًا في عام 1951 أنه يتفق مع الكتاب المقدس). وهكذا كان هناك عدد من المحاولات لتجنُّب استنتاج أنه كان ثمَّة انفجار كبير. وكان الاقتراح الذي حاز أوسع تأييد هو ما يسمَّى نظرية استقرار الحال. وقد طرحها في عام 1948 اثنان من اللاجئين من النمسا أثناء احتلال النازيين لها، وهما هرمان بوندي وتوماس جولد ومعهما البريطاني فريد هوبل، الذي كان يعمل معهما على إنشاء الرادار أثناء الحرب. والفكرة هي أنه أثناء تحرُّك المجرات مبتعدة إحداها عن الأخرى، تتكوَّن باستمرار مجرات جديدة في الفجوات التي بينها، وذلك من مادة جديدة تُخلق باستمرار. وهكذا فإن الكون سيبدو تقريبًا متماثلًا في كل الأوقات وعند كل نقاط المكان، وقد تطلَّبت نظرية استقرار الحال تعديلًا للنسبية العامة حتى تسمح بخلق متواصل للمادة، إلا أن المعدل المستخدَم هو من البطء (جسيم واحد تقريبًا لكل كيلو متر مكعب لكل سنة) بحيث إنه لا يتعارض مع التجربة. كانت هذه نظرية علمية جديدة، بالمعنى الذي وصفناه في الفصل الأول: فهي بسيطة وتقدِّم تنبؤات محددة يمكن اختبارها بالمشاهدة. أحد هذه التنبؤات هي أن عدد المجرات أو الأشياء المماثلة في أي حجم معين من الفضاء ينبغي أن يكون العدد نفسه في أي مكان وأي زمان ننظر فيه للكون. وفي أواخر الخمسينيات وأوائل الستينيات

من هذا القرن، تم في كمبردج مسح لمصادر موجات الراديو من الفضاء الخارجي بواسطة مجموعة من الفلكيين يقودهم مارتن رايل (الذي عمل أيضًا مع بوندي على الرادار أثناء الحرب، ومع جولد، وهويل). بيَّنت مجموعة كمبردج أن معظم مصادر الراديو هذه لا بد أن تقع خارج مجرتنا (والحقيقة أن الكثير منها أمكن ربطه بالمجرات الأخرى). وأنه أيضًا يوجد من المصادر الضعيفة ما هو أكثر كثيرًا من المصادر القوية. وقد فسَّروا المصادر الضعيفة بأنها الأكثر بعدًا، والقوية بأنها الأقرب. ثم بدا أنه بالنسبة لكل وحدة حجم من الفضاء تكون المصادر القريبة أقل شيوعًا من البعيدة. وهذا يمكن أن يعني أننا في المركز من منطقة هائلة من الكون، المصادر فيها أقل مما في أي مكان آخر. بدلًا من ذلك فإنه يمكن أن يعني أنه في الماضي، وقت أن رحلت موجات الراديو في طريقها إلينا، كانت المصادر أكثر عددًا مما هي عليه الآن.

أيّ من التفسيرين يتناقض وتنبُّؤات نظرية الحال المستقر. وإضافة إلى ذلك، فإن اكتشاف إشعاع موجات الميكروويف بواسطة بنزيانس وويلسون في عام 1965 قد بيَّن أيضًا أن الكون كان أكثف كثيرًا في الماضي. وهكذا لزم أن تُنبذ نظرية الحال المستقر.

في عام 1963 قام العالمان الروسيان يفجيني ليفشتز وإسحق خالاتنكوف بمحاولة أخرى لتجنب استنتاج حدوث الانفجار

الكبير، وبالتالي بداية للزمان. وقد اقترحا أن الانفجار الكبير قد يكون خاصية لنماذج فريدمان وحدها، التي هي رغم كل شيء مجرد تقريبات للكون الحقيقي. ولعل الأمر أنه من بين كل النماذج التي تشبه بالتقريب الكون الحقيقي، فإن نماذج فريدمان وحدها هي التي تحوي متفرِّدة الانفجار الكبير. المجرات في نماذج فريدمان تتحرَّك كلها، وإحداها تتباعد عن الأخرى مباشرة. وإذن فليس غريبًا أنها في وقت ما من الماضي كانت كلها في المكان نفسه. على أن المجرات في الكون الحقيقي تتحرَّك ليس فحسب بالتباعد مباشرة إحداها عن الأخرى. وإنما لها أيضًا سرعات صغيرة جانبية. وهكذا فإنها في الواقع لا يلزمها قط أن تكون كلها في المكان نفسه بالضبط، وإنما هي تتقارب معًا تقاربًا وثيقًا فحسب. وإذن فإن الكون الذي يتمدَّد حاليًا ربما نتج لا عن متفرِّدة انفجار كبير وإنما عن طور انكماش أقدم؛ وأثناء تقلّص الكون فلعل ما فيه من جُسَيمات لم تتصادم قط كلها، وإنما انساب أحدها عبر الآخر ثم بعيدًا عنه، ليحدث التمدد الحالي في الكون. كيف إذن يمكننا أن نعرف إذا كان ينبغي أن الكون الحقيقي قد بدأ بانفجار كبير؟ إن ما فعله ليفشتز وخالاتنكوف هو أنهما درسا نماذج للكون تشبه تقريبًا نماذج فريدمان، ولكنها تأخذ في الحسبان أوجه عدم انتظام المجرات والعشوائية في سرعاتها في الكون الحقيقي. وقد بيَّنّا أن نماذج كهذه يمكن أن تبدأ بانفجار كبير، حتى وإن كانت لمجرات لا تتحرَّك بعد دائمًا للتباعد إحداها مباشرة عن الأخرى، إلا أنهما زعما أن هذا يبقى ممكنًا فحسب

في نماذج استثنائية معينة، حيث المجرات كلها تتحرَّك بالطريقة الصحيحة بالضبط. وقد احتجَّا بأنه حيث يبدو أن هناك عددًا من النماذج المشابهة لنماذج فريدمان من غير متفرِّدة الانفجار الكبير هو عدد أكبر بما لا نهاية له من النماذج ذات الانفجار، فإنه ينبغي أن نستنتج أنه لم يكن في الواقع ثمَّة انفجار كبير. على أنهما تبيَّنا فيما بعد أن هناك انتشارًا أوسع كثيرًا للنماذج الشبيهة بنماذج فريدمان التي فيها متفرِّدات بالفعل، والتي ليس على المجرات فيها أن تتحرَّك بأي أسلوب خاص. وهكذا فإنهما سحبا زعمهما في عام 1970.

بحث ليفشتز وخالاتنكوف كانت له قيمته، لأنه بيَّن أن الكون «يمكن» أن تكون له متفرِّدة، هي الانفجار الكبير، إذا كانت نظرية النسبية العامة صحيحة. إلا أن هذا البحث لم يصل إلى حل السؤال العويص: هل تتنبأ النسبية العامة بأنه «ينبغي» أن يكون لكوننا انفجار كبير، بداية للزمن؟ وقد أتت الإجابة عن ذلك من تناول مختلف تمامًا أدخله في عام 1965 الرياضي والفيزيائي البريطاني روجر بنروز. فهو باستخدام الطريقة التي تسلك بها مخروطات الضوء في النسبية العامة مع حقيقة أن الجاذبية دائمًا تجذب، قد بيَّن أن النجم الذي يتقلَّص بتأثير جاذبيته هو نفسه، ينحصر في منطقة ينكمش سطحها في النهاية إلى حجم الصفر. ولما كان سطح المنطقة ينكمش إلى الصفر، فإن حجمها أيضًا لا بد أن ينكمش هكذا. وتصبح كل المادة التي في النجم مضغوطة

في منطقة حجمها صفر، وهكذا فإن كثافة المادة ومنحنى المكان - الزمان يصبحان لا متناهيَيْن. وبكلمات أخرى يكون عند المرء متفرِّدة محتواة من داخل منطقة من المكان - الزمان تعرف بالثقب الأسود.

لأول وهلة، فإن نتيجة بنروز تنطبق فقط على النجوم؛ فهي لا تقول شيئًا عن مسألة إذا كانت للكون بأكمله متفرِّدة انفجار كبير في ماضيه. على أنه في الوقت الذي أنتج فيه بنروز مبرهنته، كنت أنا طالبَ بحث أنقِّب يائسًا عن مشكلة أكمل بها بحثي لدكتوراه الفلسفة. وكنت قبل عامين قد شُخِّصت على أني أعاني من ضمور العضلات بالتليُّف الجانبي، الذي يُعرف عند العامة باسم مرض لوجيريج، أو مرض العصبة الحركية، وأُخبرت أني سأعيش لما لا يزيد على عام أو عامين. وفي ظروف كهذه لم تكن تبدو أن هناك فائدة كبيرة في العمل في بحثي للدكتوراه، فما كنت أتوقَّع أني سأبقى حيًا لزمن يطول هكذا. على أنه مر عامان ولم أصبح أسوأ حالًا بكثير. والحقيقة أن الأمور كانت تسير بما يكاد يكون سيرًا حسنًا بالنسبة لي. وتمت خطبتي إلى فتاة فاضلة جدًا، هي جين وايلد. ولكني حتى أنال الزواج كنت في حاجة إلى وظيفة، وحتى أنال الوظيفة كنت في حاجة إلى الدكتوراه.

وفي عام 1965 قرأت عن مبرهنة بنروز القائلة إن أيّ جسم يخضع للتقلص بالجاذبية يجب في النهاية أن يكوِّن متفرِّدة. وسرعان ما تبينت أن المرء لو عكس اتجاه الزمان في مبرهنة

بنروز، بحيث يصبح التقلص تمددًا، فإن شروط مبرهنته تظل صالحة، بفرض أن الكون مشابه بالتقريب لنموذج فريدمان بالمقاييس الكبيرة في الوقت الحالي. مبرهنة بنروز قد بيَّنت أن أي نجم يتقلَّص «يجب» أن ينتهي بمتفرِّدة؛ ومحاججة الزمن المعكوس تبيِّن أن أي كون متمدِّد مشابه لكون فريدمان «يجب» أن يكون قد بدأ بمتفرِّدة. ولأسباب تقنية، تتطلَّب مبرهنة بنروز أن يكون لا متناهيًا في المكان. وهكذا فقد أمكنني في الحقيقة استخدامها لإثبات أن المتفرِّدة لا تكون ضرورية إلا إذا كان الكون يتمدَّد بالسرعة الكافية لتجنب تقلصه ثانية (حيث إن هذا النوع من نماذج فريدمان هو الوحيد اللامتناهي في المكان).

أثناء السنوات القليلة التالية أنشأت تقنيات رياضية جديدة لأتغلب على هذا وغيره من الشروط التقنية في المبرهنات التي تثبت أن المتفرِّدات يجب أن تقع. وكانت النتيجة النهائية هي ورقة بحث كتبتها بالاشتراك مع بنروز في عام 1970، أثبتت في النهاية أنه لا بد من أن متفرِّدة انفجار كبير كانت موجودة، وذلك مشروط فقط بأن تكون النسبية العامة صحيحة، وأن يحوي الكون من المادة قدر ما نلاحظ. كانت ثمَّة معارضة كثيرة لبحثنا، كانت في جزء منها من الروس بسبب إيمانهم الماركسي بالحتمية العلمية، وفي جزء آخر من أناس يحسون أن فكرة المتفرِّدات كلها فكرة منفِّرة تفسد جمال نظرية آينشتاين. على أن الواحد لا يستطيع حقًا أن يجادل مبرهنة رياضية. وهكذا فإن عملنا أصبح في النهاية مقبولًا بصورة عامة وأصبح كل فرد تقريبًا في يومنا هذا يفترض

أن الكون قد بدأ بمتفرِّدة انفجار كبير. ولعل ما يثير السخرية أنني وقد غيَّرت رأيي، فإني أحاول الآن إقناع الفيزيائيين الآخرين بأنه لم تكن هناك في الحقيقة متفرِّدة عند بدء الكون، وكما سنرى في ما يلي، فإن المتفرِّدة يمكن أن تختفي ما إن تؤخذ تأثيرات الكم في الحسبان.

ها قد رأينا في هذا الفصل، كيف تغيَّرت في أقل من نصف القرن نظرة الإنسان للكون التي تكوَّنت عبر آلاف السنين. إن اكتشاف هابل أن الكون يتمدَّد، وتبيُّن عدم أهمية كوكبنا في الكون الفسيح، كانا فقط نقطة البداية. مع تراكم الدليل التجريبي والنظري، أصبح من الواضح أكثر وأكثر أن الكون لا بد له من بداية في الزمان، حتى تمَّت البرهنة على ذلك نهائيًا في عام 1970 بواسطة بنروز وإياي، على أساس نظرية آينشتاين للنسبية العامة. بيَّن هذا البرهان أن النسبية العامة هي مجرَّد نظرية منقوصة، فهي لا تستطيع أن تخبرنا بكيفية بدء الكون، لأنها تتنبَّأ بأن كل النظريات الفيزيائية بما فيها هي ذاتها، تنهار عند بدء الكون. على أن النسبية العامة تعلن أنها مجرد نظرية جزئية، وهكذا فإن ما تظهره في الحقيقة نظريات المتفرِّدة أنه لا بد كان هناك وقت للكون المبكِّر جدًا كان الكون فيه صغيرًا جدًا، بحيث إن المرء لا يستطيع بعدُ أن يتجاهل تأثيرات المقاييس الصغيرة لنظرية ميكانيكا الكم، وهي النظرية الجزئية العظيمة الأخرى في القرن العشرين. وهكذا أجبرنا مع بداية السبعينيات على أن نحوِّل بحثنا

عن فهم الكون من نظريتنا عمَّا هو كبير إلى حد خارق، إلى نظريتنا عمَّا هو دقيق الصغر إلى حد خارق. وهذه النظرية، ميكانيكا الكم سيتم توصيفها في ما يلي، قبل أن نحوِّل جهودنا إلى جمع النظريتين الجزئيتين في نظرية كم جاذبية واحدة.



(4)

مبدأ الريبة

كان من نجاح النظريات العلمية، وخاصة نظرية نيوتن عن الجاذبية، أن أدى ذلك بالعالم الفرنسي الماركيز دي لابلاس، إلى أن يحاجج في بداية القرن التاسع عشر بأن الكون محتَّم بالكامل واقترح لابلاس أنه ينبغي أن يكون ثمَّة مجموعة من القوانين التي تسمح لنا بالتنبؤ بأي شيء سيحدث في الكون، لو أننا فقط عرفنا الحالة الكاملة للكون عند وقت معين. وكمثال، فلو عرفنا مواضع وسرعات الشمس والكواكب عند وقت معين، فستتمكن إذن من استخدام قوانين نيوتن لحساب حالة النظام الشمسي في أي وقت آخر. وتبدو الحتمية في هذه الحالة واضحة نوعًا، ولكن لابلاس يمضي لأبعد مفترضًا أن ثمَّة قوانين مشابهة تحكم كل شيء آخر بما فيه سلوك الإنسان.

مذهب الحتمية العلمية قاومه الكثيرون بشدة، لأنهم أحسوا أنه يتعدَّى على الحرية الإلهية في التدخل في العالم، على أن المذهب ظل هو الفرض العلمي القياسي حتى السنوات الأولى من القرن العشرين. أتى أحد المؤشِّرات على وجوب التخلِّي عن

هذه العقيدة، عندما بيَّنت الحسابات التي قام بها العالمان لورد رايلي وسير جيمس جينس أن الشيء أو الجسم الساخن مثل النجم، يجب أن يشعّ الطاقة بمعدَّل لا متناه. حسب القوانين التي كنَّا نؤمن بها آنذاك، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يبعث موجات كهرومغناطيسية (مثل موجات الراديو، أو الضوء المرئي، أو أشعة إكس) بقدر متساوٍ عند كل الترددات. وكمثال، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يشعّ قدر الطاقة نفسه في الموجات التي يكون ترددها بين مليون مليون ومليوني مليون موجة في الثانية، مثلما يشعه في الموجات التي يكون ترددها بين مليوني مليون وثلاثة مليون مليون موجة في الثانية. والآن، فحيث إن عدد الموجات في الثانية غير محدود، فإن هذا سيعني أن الطاقة الكلية التي تُشع ستكون لا متناهية.

حتى يمكن تجنُّب هذه النتيجة التي هي بالتأكيد مضحكة، اقترح العالم الألماني ماكس بلانك في عام 1900 أن الضوء، وأشعة إكس والموجات الأخـرى لا يمكن أن تُبث بمعدَّل اعتباطي، وإنما هي تُبث فقط في حزمات معينة سمَّاها «الكمَّات». وفوق ذلك كل كمَّة لها قدر معين من الطاقة يكون أعظم كلما علا تردد الموجات، وهكذا فإنه عند علو التردد بما يكفي فإن بث كمّة واحدة سوف يتطلَّب طاقة أكبر مما كان متاحًا. وهكذا فإن الإشعاع عند الترددات العالية سوف يقل، وهكذا فإن المعدل الذي يفقد به الجسم الطاقة سيكون متناهيًا.

لقد فسَّرت فرضية الكم المعدلَ الملاحظ لبث الإشعاع من الأجسام الساخنة تفسيرًا جيدًا جدًا، على أنه لم يتم تبين دلالاته بالنسبة للحتمية حتى عام 1926، عندما قام عالم ألماني آخر، هو فرنر هايزنبرج بصياغة مبدأ الريبة الشهير. فحتى يتنبَّأ المرء بموضع جُسَيْم وسرعته في المستقبل، يكون على المرء أن يتمكن من قياس موضعه وسرعته الحاليين بدقة. والطريقة الواضحة لفعل ذلك هي تسليط ضوء على الجسيم. سوف تتشتت بعض موجات الضوء بواسطة الجسيم وسيدل هذا على موضعه. على أن المرء لن يستطيع أن يحدِّد موضع الجُسَيْم بما هو أدق من المسافة بين ذرات موجات الضوء، وهكذا فإن المرء يحتاج إلى استخدام ضوء له طول موجة قصير حتى يقيس موضع الجسيم بدقة. والآن، فإنه حسب فرضية كَمّ بلانك، لا يستطيع المرء استخدام قدر من الضوء يكون صغيرًا على نحو اعتباطي؛ فعلى المرء أن يستخدم على الأقل كَمّة واحدة. وهذه الكمة ستجعل الجسيم يضطرب ويغيِّر من سرعته بطريقة لا يمكن التنبؤ بها. وفوق ذلك فكلما زادت الدقة التي يقيس بها المرء الموضع، قَصُرَ طول موجة الضوء التي يحتاجها المرء وبالتالي زادت طاقة الكمة المفردة. وهكذا فإن سرعة الجسيم ستضطرب بقدر أكبر. وبكلمات أخرى كلما زادت دقة محاولتك لقياس موضع الجسيم قَلَّت الدقة التي تقيس بها سرعته، والعكس بالعكس. وبيَّن هايزنبرج أن الريبة في موضع الجسيم مضروبًا في الريبة في سرعته مضروبًا في كُتلته لا يمكن أن يكون أصغر من قدر معين،

يُعرف باسم ثابت بلانك. وفوق ذلك فإن هذا الحد لا يعتمد على الطريقة التي يحاول بها المرء قياس موضع أو سرعة الجسيم، ولا على نوع الجسيم: فمبدأ الريبة عند هايزنبرج هو خاصة أساسية للعالم لا مفرَّ منها.

مبدأ الريبة له دلالات عميقة بالنسبة للطريقة التي نرى بها العالم. وحتى بعد أكثر من سبعين عامًا فإن الكثيرين من الفلاسفة لم يقدِّروا بعد هذه الدلالات حق قدرها، وهي ما زالت موضع الكثير من الخلاف. أعطى مبدأ الريبة الإشارة لنهاية حلم لابلاس بنظرية علمية، أو نموذج للكون يكون حتميًا بالكلية: ومن المؤكد أن المرء لا يستطيع التنبؤ بأحداث المستقبل بالضبط ما دام لا يستطيع حتى أن يقيس بدقة الوضع الحالي للكون! على أننا ما زلنا نستطيع أن نتصوَّر أن هناك مجموعة من القوانين التي تحتِّم الأحداث على نحو كامل بالنسبة لكائن فوق طبيعي، يستطيع أن يلاحظ الوضع الحالي للكون من دون أن يثير فيه الاضطراب. على أن هذا النوع من نماذج الكون ليس فيه ما يهمنا كثيرًا نحن الأفراد العاديين الفانين. يبدو أن من الأفضل استخدام المبدأ التوفيري المعروف باسم «موسى أوكام» ونحذف بعيدًا كل ملامح النظرية التي لا يمكن ملاحظتها. أدى هذا التناول إلى أن قام هايزنبرج وإروين شرودر وبول ديراك في العشرينيات من القرن العشرين بإعادة صياغة الميكانيكا في نظرية جديدة سُمِّيت ميكانيكا الكم، تتأسَّس على مبدأ الريبة. الجسيمات في

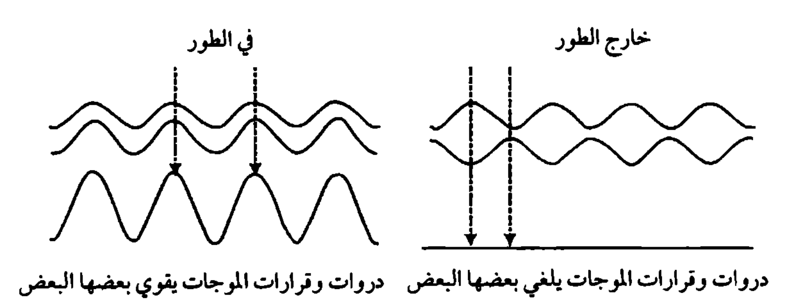
هذه النظرية لم يعد لديها بعدُ مواضع وسرعات منفصلة واضحة التحدد لا يمكن ملاحظتها. وبدلًا من ذلك فإن لديها حالة كم، هي توليفة من الموضع والسرعة.

وعمومًا، فإن ميكانيكا الكم لا تتنبأ بنتيجة وحيدة محدَّدة لمشاهدة ما. وبدلًا من ذلك فإنها تتنبَّأ بعدد من النتائج الممكنة المختلفة، وتخبرنا بمدى احتمال كل واحدة منها. بمعنى، أنه إذا أجرى المرء القياس نفسه على عدد كبير من أنسقة مماثلة، كل منها قد بدأ منطلقًا بالطريقة نفسها، فسيجد المرء أن نتيجة القياس تكون (أ) في عدد معين من الحالات، و(ب) في عدد مختلف وهلم جرًّا. ويمكن للمرء أن يتنبَّأ بالعدد التقريبي للمرات التي تكون النتيجة فيها (أ) أو (ب)، ولكن لا يمكن للمرء أن يتنبَّأ بنتيجة محددة لقياس فردي. فميكانيكا الكم تُدخل إذن في العلم عنصرًا لا يمكن تجنبه من العشوائية أو عدم إمكان التنبُّؤ. وقد عارض آينشتاين هذا معارضة قوية جدًا، رغم الدور المهم الذي قام به في نشأة هذه الأفكار. وقد مُنح آينشتاين جائزة نوبل لمساهمته في نظرية الكم. ومع هذا فإن آينشتاين لم يتقبَّل قط أن يكون الكون محكومًا بالصدفة، وتتلخص مشاعره هذه في مقولته المشهورة «إن الرب لا يلعب النرد». على أن معظم العلماء الآخرين كانوا على استعداد لتقبل ميكانيكا الكم لأنها تتفق تمامًا مع التجربة. والحقيقة أنها نظرية ناجحة على نحو رائع وهي تدخل في أساس كل العلم والتكنولوجيا الحديثين تقريبًا. وهي تتحكَّم في سلوك

الترانزستور والدوائر المتكاملة، تلك العناصر الرئيسية في الأجهزة الإلكترونية مثل التليفزيونات والكمبيوترات، وهي أيضًا أساس الكيمياء والبيولوجيا الحديثَيْن. المجالات الوحيدة في العلم الفيزيائي التي لم تُدمج بعد فيها ميكانيكا الكم على نحو لائق هي الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير.

رغم أن الضوء مصنوع من موجات، إلا أن فرضية كم بلانك تخبرنا أنه - من بعض الوجوه - يسلك وكأنه مكوَّن من جسيمات: فهو يُبعث أو يُمتص فقط في حزمات، أو كمَّات. وبالمثل، فإن مبدأ الريبة عند هايزنبرج يدل على أن الجسيمات تسلك في بعض الوجوه مثل الموجات: فليس لها موضع محدَّد، وإنما هي تنبسط في مسحة بتوزيع له احتمال معين. نظرية ميكانيكا الكم قد تأسَّست على نوع جديد تمامًا من الرياضيات، لم يعد بعد يوصِّف العالم الحقيقي بحدود من الجسيمات والموجات؛ فمشاهدات العالم هي وحدها التي قد تُوصَف بهذه الحدود. وهكذا فإن ثمَّة ازدواجية بين الموجات والجسيمات في ميكانيكا الكم: فمن المفيد لأغراض معينة تصوُّر الجسيمات كموجات، ولأغراض أخرى يكون من الأفضل تصوُّر الموجات كجسيمات. إحدى النتائج المهمة لذلك هي أن المرء يستطيع أن يلاحظ ما يسمَّى التداخل بين مجموعتين من الموجات أو الجسيمات. أي أن ذروات (قمم) مجموعة من الموجات قد تتطابق مع قرارات (قاع) مجموعة أخرى. وهكذا فإن مجموعتَي الموجات ستلغي

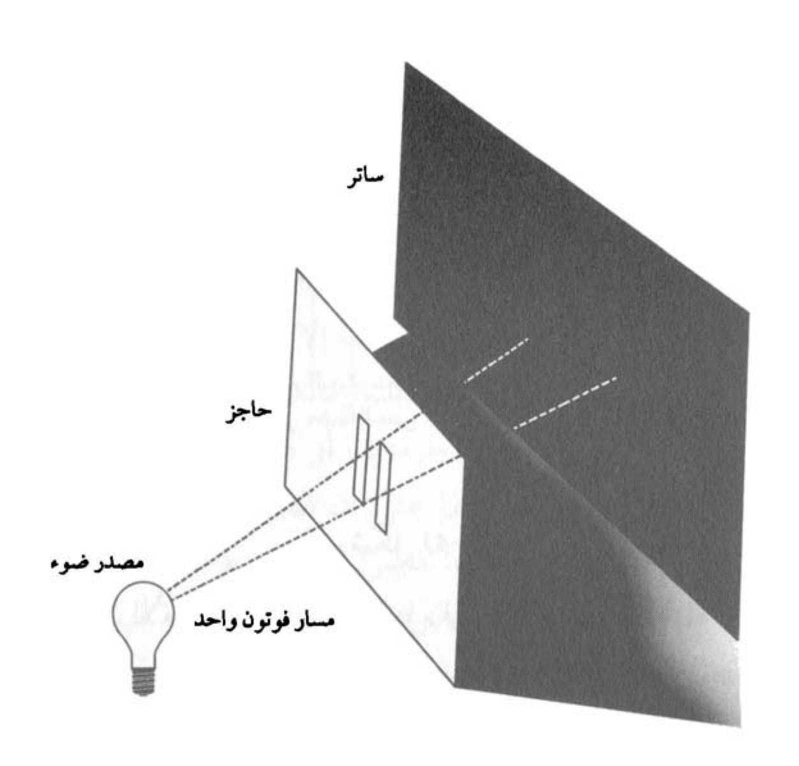
إحداها الأخرى، بدلًا من أن تتضايف إلى موجة أقوى كما قد يتوقَّع المرء شكل (4–1).



شكل (4–1)

من الأمثلة المألوفة للتداخل في حالة الضوء، تلك الألوان التي كثيرًا ما نراها في فقَّاعات الصابون. فهذه الألوان تنجم عن انعكاس الضوء من جانبَيْ غشاء الماء الرقيق الذي يكوِّن الفقاعة. الضوء الأبيض يتألَّف من موجات ضوء من كل الأطوال أو الألوان المختلفة. بالنسبة لأطوال معينة من الموجات فإن ذرات الموجات المنعكسة من أحد جانبي غشاء الصابون تتطابق مع قيعان الموجات المنعكسة من الجانب الآخر. وهكذا فإن الألوان المناظرة لهذه الأطوال تغيب عن الضوء المنعكس، وبهذا فإنه يبدو ملوَّنًا.

والتداخل يمكن أن يحدث أيضًا للجسيمات، بسبب الازدواجية التي أدخلتها ميكانيكا الكم. أحد الأمثلة الشهيرة لذلك هو ما يسمَّى تجربة الشقَّين شكل (4–2).



شكل (4-2)

فلننظر في أمر حاجز فيه شقان ضيقان متوازيان. وعلى أحد جانبي الحاجز يضع المرء مصدرًا لضوء من لون معين (أي له طول موجة معين). سيصطدم معظم الضوء بالحاجز، إلا أن قدرًا صغيرًا سيمر من خلال الشقَّين. لنفترض الآن أننا وضعنا ساترًا على جانب الحاجز البعيد عن الضوء. إن أي نقطة من الساتر ستتلقَّى موجات من الشقين الاثنين. على أنه بصفة عامة، فإن المسافة التي يكون على الضوء أن يقطعها من المصدر حتى

الساتر من خلال الشقين ستكون مسافة مختلفة. وسوف يعني هذا أن الموجات من الشقين لن تكون في الطوْر نفسه عند وصول كل منهما للساتر: في بعض الأماكن ستلغي الموجات بعضها بعضًا، وفي أماكن أخرى ستدعم إحداها الأخرى. والنتيجة هي نمط مميز من الضوء والحواف المظلمة.

الشيء الرائع أن المرء يصل بالضبط للنوع نفسه من الحواف لو وضع مكان مصدر الضوء مصدرًا لجسيمات مثل إلكترونات ذات سرعة محددة (ويعني هذا أن الموجات المناظرة لها طول محدَّد). والأمر يبدو أكثر غرابة لأننا عندما يكون هناك شق واحد فقط، لن ننال أي حواف، وإنما يكون هناك فقط توزيع متَّسق للإلكترونات على الساتر. وقد يظن المرء إذن أن فتح شق آخر سيؤدِّي فحسب إلى زيادة عدد الإلكترونات التي تصطدم بكل نقطة على الساتر، ولكنه في الواقع يقلِّل العدد في بعض الأماكن بسبب التداخل. ولو كانت الإلكترونات تُرسل من خلال الشقين بمعدل إلكترون واحد في كل مرة، لتوقَّع المرء أن يمر الواحد منها من أحد الشقَّيْن أو الآخر، وهكذا يسلك كما لو كان الشق الذي مر من خلاله هو الشق الوحيد هناك – ما يعطي توزيعًا متَّسقًا على الساتر. على أن الحقيقة هي أنه حتى عندما تُرسل الإلكترونات بمعدل واحد في كل مرة، فإن الحواف تظل ظاهرة. وإذن فإن كل إلكترون يمر بالتأكيد من خلال «كلا» الشقَّين في الوقت نفسه!

وظاهرة التداخل بين الجسيمات كانت حاسمة في فهمنا

لتركيب الذرات، وهي الوحدات الأساسية للكيمياء والبيولوجيا ووحدات البناء التي صُنعنا منها وكل شيء حولنا. في بداية هذا القرن كان يُعتقد أن الذرات تكاد تشبه الكواكب التي تدور حول الشمس، فالإلكترونات (الجُسَيمات سالبة الكهرباء) تدور حول نواة مركزية، تحمل كهرباء موجبة. وكان يُفترض أن التجاذب بين الكهرباء الموجبة والسالبة يبقي الإلكترونات في مداراتها بالطريقة نفسها التي تبقى بها الكواكب في مدارها، بفعل شد الجاذبية بين الشمس وبينها. والمشكلة في هذا الأمر أن قوانين الميكانيكا والكهرباء، قبل ميكانيكا الكم، كانت تتنبَّأ بأن الإلكترونات سوف تفقد طاقة، وهكذا فإنها ستتجه لولبيًا للداخل حتى تصطدم بالنواة. سوف يعني هذا أن الذرة، بل وفي الحقيقة كل المادة، ينبغي أن تتقلَّص سريعًا إلى حالة من كثافة عالية جدًا. تم العثور على حل جزئي لذلك بواسطة العالم الدانمركي نيلز بوهر في عام 1913. فقد اقترح أنه ربما يكون الأمر أن الإلكترونات فحسب لا تستطيع الدوران عند أي مسافة من النواة المركزية وإنما تدور فقط عند مسافات معيَّنة محدَّدة. ولو فرضنا أيضًا أن إلكترونًا واحدًا أو اثنين فقط يستطيعان الدوران عند أي من هذه المسافات، فإن هذا يحل مشكلة تقلُّص الذرة، لأن هذه الإلكترونات لن تستطيع التحرك لولبيًا للداخل إلى أبعد من المدارات ذات الطاقات الأقل، وذات المسافة الأبعد (عن النواة).

فسَّر هذا النموذج تفسيرًا جيدًا بنية أبسط ذرة، أي الهيدروجين،

التي ليس لها إلا إلكترون واحد يدور حول النواة. ولكن لم يكن من الواضح كيف ينبغي أن نمد ذلك إلى الذرات الأكثر تعقُّدًا. وفوق ذلك فإن فكرة مجموعة محدَّدة من المدارات المتاحة بدت فكرة اعتباطية جدًا. وقد حلَّت نظرية الكم الجديدة هذه الصعوبة. فقد كشفت عن أن الإلكترون الذي يدور حول النواة ويمكن تصوره على أنه موجة طولها يعتمد على سرعتها. وبالنسبة لبعض المدارات، يكون طول المدار مناظرًا لعدد صحيح (في مقابل العدد المكسور) من موجات الإلكترون. بالنسبة لهذه المدارات، ستكون ذروة الموجة في الموضع نفسه مع كل دورة، وهكذا فإن الموجات تتضايف: وهذه المدارات هي ما يناظر مدارات بوهر المتاحة. على أنه بالنسبة للمدارات التي لا تكون أطوالها عددًا صحيحًا من أطوال الموجات، فإنه مع دوران الإلكترونات ستصبح في النهاية كل ذروة موجة ملغاة بـ«قاع»؛ فهذه مدارات لن تكون متاحة.

من الطرق البارعة لتصور ازدواجية الموجة/ الجسيم ما يسمَّى حاصل جمع التواريخ Sum over histories الذي أدخله العالم الأمريكي ريتشارد فينمان. وفي هذا التناول لا يُفترض تاريخ للجسيم أو مسلك وحيد في المكان - الزمان، كما تكون الحال في نظرية كلاسيكية غير كَمّية. بدلًا من ذلك يفترض الذهاب من أ إلى ب بكل ما يحتمل من مسارات. وكل مسار يرتبط به رقمان: أحدهما يمثِّل حجم الموجة والآخر الموضع في الدورة

(أي ما إذا كان ذروة أو قـرارًا). احتمال الذهاب من أ إلى ب يُحسب بجمع موجات كل المسارات. عمومًا فإنه إذا قارن المرء مجموعة من المسارات المتجاورة، فإن الأطوار أو المواضع في الدورة ستختلف اختلافًا عظيمًا. يعني هذا أن الموجات المرتبطة بهذه المسارات تكاد بالضبط أن تلغي إحداها الأخرى على أنه بالنسبة لبعض مجموعات المسارات المتجاورة فإن الطور لن يختلف اختلافًا كثيرًا في ما بين المسارات. الموجات بالنسبة لهذه المسارات لن يلغي بعضها بعضًا. وهذه المسارات تناظر مسارات بوهر المتاحة.

بهذه الأفكار، في شكل رياضي متين، أمكن بصورة مباشرة نسبيًا حساب المدارات المتاحة في الذرات الأكثر تعقّدًا، وحتى في الجزيئات التي تتكوَّن من عدد من الـذرات تمسكها معًا الإلكترونات التي تدور في مدارات حول أكثر من نواة واحدة. ولمَّا كانت بنية الجزيئات وتفاعلاتها أحدها مع الآخر هي في أساس كل الكيمياء والبيولوجيا، فإن ميكانيكا الكم تتيح لنا من حيث المبدأ أن نتنبّأ تقريبًا بكل شيء نراه من حولنا، في الحدود التي يفرضها مبدأ الريبة. (على أنه وُجد عند التطبيق أن الحسابات المطلوبة للنسق التي تحتوي على أكثر من إلكترونات معدودة هي حسابات يبلغ من تعقّدها أننا لا نستطيع القيام بها).

نظرية آينشتاين للنسبية العامة تحكم، في ما يبدو، بنية الكون ذات المقياس الكبير. وهي ما يسمَّى نظرية كلاسيكية؛ أي أنها

لا تأخذ في الحسبان مبدأ الريبة لميكانيكا الكم، كما ينبغي أن تفعل بغرض التوافق مع النظريات الأخرى. والسبب في أن هذا لم يؤدِّ إلى أي تعارض مع المشاهدة هو أن كل مجالات الجاذبية التي نلاحظها طبيعيًا هي مجالات ضعيفة جدًا. على أن مبرهنات المتفرِّدة التي ناقشناها من قبل تدل على أن مجال الجاذبية ينبغي أن يصبح قويًا جدًا في موقفَيْن على الأقل، الثقوب السوداء والانفجار الكبير. وفي مثل هذه المجالات القوية ينبغي أن تكون تأثيرات ميكانيكا الكم أمرًا مهمًا. وهكذا فإن النسبية العامة الكلاسيكية بتنبؤها بنقاط ذات كثافة لا متناهية، تتنبأ بانهيارها هي نفسها، تمامًا مثلما تنبَّأت الميكانيكا الكلاسيكية (أي غير الكمية) بإنهيارها باقتراح أن الذرات ينبغي أن تتقلَّص إلى كثافة لا متناهية. ليس لدينا بعدُ نظرية متماسكة كاملة توحِّد النسبية العامة وميكانيكا الكم، ولكننا نعرف بالفعل عددًا من الملامح التي ينبغي أن تكون فيها. النتائج التي ستحدثها هذه في الثقوب السوداء والانفجار الكبير سيتم توصيفها في الفصول القادمة. أما في لحظتنا هذه، فسنوجه التفاتنا إلى المحاولات الحديثة التي بُذلت حتى نضم معًا فهمنا لقوى الطبيعة الأخرى، في نظرية كم واحدة موحَّدة.

* * *

(5)

الجسيمات الأوَّليّة وقوى الطبيعة

كان أرسطو يعتقد أن كل المادة التي في الكون تتكوَّن من أربعة عناصر أولية: التربة والهواء، والنار، والماء. وهذه العناصر تؤثِّر فيها قوتان: **الجاذبية**، أي نزعة التربة والماء إلى الهبوط، **والخفَّة**، أي نزعة الهواء والنار إلى الصعود. وهذا التقسيم لمحتويات الكون إلى مادة وقوى ما زال يُستخدم حتى الآن.

كان أرسطو يعتقد أن المادة متصلة، أي أن المرء يستطيع أن يقسم قطعة من المادة إلى أجزاء أصغر وأصغر بلا أي حد: ولا يمكن قط أن يواجه المرء حبة من المادة لا يمكن تقسيمها لأكثر منها. على أن قلة من الإغريق، مثل ديمقريطس، نادوا بأن المادة جُبلت على أنها ذات حبيبات، وأن كل شيء قد صُنع من عدد كبير من أصناف شتى مختلفة من الذرات. (وكلمة «ذرة» atom تعني في الإغريقية «غير القابل للانقسام»). وقد استمر الجدل لقرون من دون أي برهان حقيقي يرجِّح كفة أحد الجانبين، إلا أن الكيميائي والفيزيائي جون دالتون بيَّن في عام 1803 حقيقة

أن المركبات الكيمياوية تتحدَّد دائمًا بنسب معينة يمكن تفسيرها بتجمُّع الذرات معًا لتشكِّل وحدات تسمَّى الجزيئات. على أن الجدل بين مدرستَيْ الفكر لم يُحسم نهائيًا في صف الذريين حتى السنوات الأولى من هذا القرن. وقد قدَّم آينشتاين أحد الأجزاء المهمة للبرهان الفيزيائي. فقد بيَّن آينشتاين في ورقة بحث كتبها في عام 1905، قبل ورقته الشهيرة عن النسبية الخاصة بأسابيع قليلة، أن ما يسمَّى الحركة البراونية - أي الحركة العشوائية غير المنتظمة لجسيمات الغبار الصغيرة المعلّقة في أحد السوائل - يمكن تفسيرها بأنها تأثير من ذرات السائل إذ تصطدم بجسيمات التراب.

وفي ذلك الوقت كان هناك بالفعل شكوك عن أن هذه الذرات هي - رغم كل شيء - ليست غير قابلة للانقسام. وقبل ذلك بعدة أعوام أثبت أحد زملاء كلية الثالوث في كمبردج وهو ج. ج. تومسون، وجود جسيم من المادة، يسمَّى الإلكترون، له كتلة هي أقل من واحد من الألف من كتلة أخف الذرات. وقد استخدم جهازًا يشبه أنبوبة الصورة في التليفزيون الحديث: وكان هناك خيط معدني ساخن حتى الاحمرار يبعث الإلكترونات، ولما كانت هذه ذات شحنة كهربية سالبة، فإن يمكن استخدام مجال كهربي لتعجيلها في اتجاه حاجز مغطًّى بالفوسفور. وعندما تصطدم الإلكترونات بالحاجز تتولَّد ومضات من الضوء. وسرعان ما تبيَّن أن هذه الإلكترونات لا بد أنها تأتي من داخل

الذرات نفسها، وفي النهاية أوضح الفيزيائي البريطاني إرنست روزرفورد في عام 1911 أن ذرات المادة لها بالفعل بنية داخلية: فهي مصنوعة من نواة دقيقة الحجم للغاية ذات شحنة موجبة، يدور من حولها عدد من الإلكترونات. وقد استنتبط ذلك بتحليل الطريقة التي تنحرف بها جسيمات ألفا عندما تصطدم بالذرات، وهذه الجسيمات هي جسيمات ذات شحنة موجبة تنبعث من الذرات المشعّة.

في أول الأمر كان يُظن أن نواة الذرة مصنوعة من الإلكترونات وأعداد مختلفة من جسيم ذي شحنة موجبة يسمَّى البروتون، وقد أخذ الاسم من كلمة إغريقية تعني «الأول» لأنه كان يُعتقد أنه الوحدة الأساسية التي صُنعت منها المادة. على أن جيمس شادويك، أحد زملاء روزرفورد في كمبردج، اكتشف في عام 1932 أن النواة تحوي جسيمًا آخر، يسمَّى النيوترون، وله تقريبًا كتلة البروتون نفسها ولكن ليست له شحنة كهربية. وقد نال شادويك جائزة نوبل عن اكتشافه، وانتُخب مديرًا لكلية جونفيل وكايوس بكمبردج (الكلية التي أعمل زميلًا فيها الآن). وقد استقال فيما بعد من منصب المدير بسبب عدم الاتفاق مع الزملاء. كان ثمَّة نزاع مرير في الكلية منذ أن قامت مجموعة من الزملاء الشبان العائدين بعد الحرب بالتصويت بإقصاء الكثيرين من الزملاء كبار السن من مناصب الكلية التي شغلوها زمنًا طويلًا. وكان هذا قبل عهدي بالكلية؛ وقد التحقت بالكلية في عام 1965 عند آخر طرف

للمرارة، إذ أجبرت نزاعات مشابهة مديرًا آخر - حاز جائزة نوبل - على الاستقالة، وهو سير نيفل موت.

حتى ما يقرب من عشرين سنة (نُشر الكتاب لأول مرة عام 1988)، كان يُظن أن البروتونات والنيوترونات هي جسيمات «أولية»، إلا أن تجارب اصطدام البروتونات بسرعات كبيرة بالبروتونات الأخرى أو الإلكترونات بيَّنت أنها في الحقيقة قد صُنعت من جسيمات أصغر. وقد سُمِّيت هذه الجسيمات الكواركات quarks وذلك بواسطة فيزيائي من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا هو مواري جيل - مان؛ وقد فاز بجائزة نوبل في عام 1969 لبحثه عليها. وأصل الاسم هو اقتباس مبهم عن جيمس جويس (الأديب الأيرلندي الشهير): «ثلاثة كواركات للسيد مارك!». وكلمة «كوارك» يُفترض أنها تنطق مثل كوارتquart، ولكن بكاف في نهايتها بدلًا من التاء. ولكنها عادة تنطق مقفاة مع لارك lark.

ثمَّة عدد من الأنواع المختلفة من الكواركات: ويُعتقد أن هناك على الأقل ست «نكهات» Flavors تسمَّى «منخفض، وعالي، وغريب، وساحر، وقاع، وقمة». وكل نكهة تكون في ثلاثة «ألـوان»، «أحمر وأخضر وأزرق». (ينبغي التأكيد على أن هذه المصطلحات هي مجرد عناوين: فالكواركات أصغر كثيرًا من أطول موجات الضوء المرئي وهكذا فليس لها أي لون بالمعنى العادي. الأمر فحسب أن الفيزيائيين المحدثين لديهم في ما يبدو أساليب من الخيال الأوسع لإطلاق الأسماء على

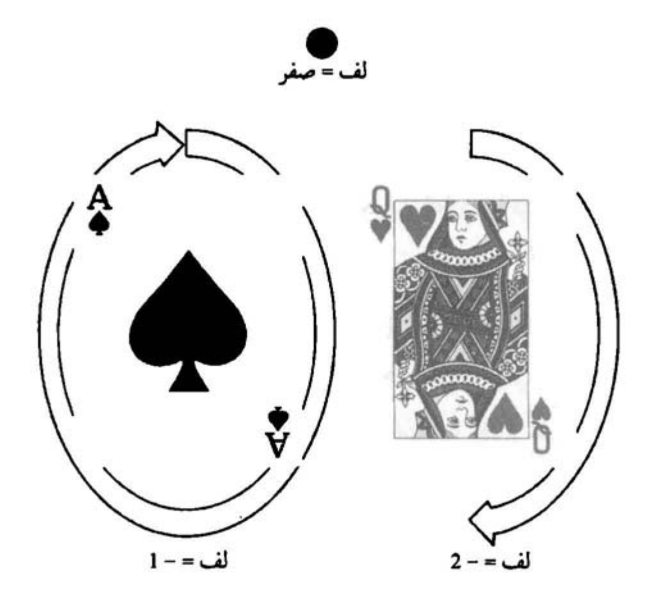
الجسيمات والظواهر الجديدة، فهم لم يعودوا بعدُ يقتصرون على الاستعارة من الإغريقية!) البروتون أو النيوترون مصنوع من ثلاثة كواركات، واحد من كل لون. ويحوي البروتون كواركَيْن اثنَيْن من العالي وكواركًا واحدًا منخفضًا؛ والنيوترون يحوي اثنين من المنخفض وواحدًا من العالي. ويمكننا تخليق جسيمات مصنوعة من كواركات أخرى (غريب، وساحر، وقاع، وقمة)، ولكن هذه كلها لها كتلة أكبر كثيرًا وتتحلل سريعًا جدًا إلى بروتونات ونيوترونات.

ونحن الآن نعرف أن الذرات، وما في داخلها من بروتونات ونيوترونات، غير قابلة للانقسام. وهكذا فإن السؤال هو: ما هي الجسيمات الأولية الحقَّة، وحدات البناء الأساسية التي يُصنع منها كل شيء؟ وحيث أن طول موجة الضوء هو أكبر كثيرًا من حجم الذرة، فإنه لا يمكننا أن نأمل في «النظر» إلى أجزاء الذرة بالطريقة العادية. نحن نحتاج إلى استخدام شيء ما طول موجته أصغر كثيرًا. وكما رأينا في الفصل الأخير، فإن ميكانيكا الكم تخبرنا بأن كل الجسيمات هي في الحقيقة موجات، وأنه كلما ارتفعت طاقة الجسيم، كان طول الموجة المناظرة أصغر. وهكذا فإن أحسن إجابة قد نجيبها عن سؤالنا تعتمد على قدر ارتفاع طاقة الجسيم التي تحت تصرفنا، لأن هذا يحدِّد قدر صغر مقياس الطول الذي يمكننا البحث عنه. طاقات الجسيمات هذه تُقاس عادة بوحدات تسمَّى فولتات الإلكترون. (رأينا في تجارب تومسون على الإلكترونات أنه استخدم مجالًا كهربيًا لتعجيل الإلكترونات.

والطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد من مجال كهربي لفولت واحد هي ما يُعرف بفولت الإلكترون). في القرن التاسع عشر، عندما كانت طاقات الجسيم الوحيدة التي عرف الناس كيفية استخدامها هي طاقات منخفضة من وحدات فولت إلكترون معدودة تتولَّد من التفاعلات الكيماوية مثل الاحتراق، كان من المعتقد أن الذرات هي أصغر الوحدات. وفي تجربة روذرفورد، كان لجسيمات ألفا طاقات من ملايين فولتات الإلكترون. تعلمنا في وقت أحدث كيفية استخدام المجالات الكهرومغناطيسية لتبعث طاقات جسيمات كانت في أول الأمر بالملايين، ثم أصبحت بآلاف الملايين من فولتات الإلكترون. وهكذا فنحن نعرف أن الجسيمات التي كان يُظن أنها «أولية» منذ عشرين سنة مضت، هي في الحقيقة تتألَّف من جسيمات أصغر. أيمكن أن نكشف - لو ذهبنا إلى الطاقات الأعلى أن هذه الجسيمات هي بدورها تتألف أيضًا من جسيمات أصغر؟ من المؤكَّد أن هذا أمر في الإمكان، على أن لدينا بالفعل عدد قليل من أسباب نظرية تجعلنا نؤمن بأننا وصلنا أو اقتربنا جدًا من الوصول إلى معرفة وحدات البناء النهائية للطبيعة.

فباستخدام ازدواجية الموجة/الجسيم التي نوقشت في الفصل الأخير، يمكن توصيف كل شيء في الكون، بما في ذلك الضوء والجاذبية، بلغة من الجسيمات. ولهذه الجسيمات خاصية تسمَّى اللف أو البرم **Spin**، وإحدى طرق التفكير في اللف هي تخيُّل الجسيمات وكأنها ذرى صغيرة تدور حول أحد المحاور.

على أن هذا قد يؤدِّي لخطأ في الفهم لأن ميكانيكا الكم تخبرنا أن الجسيمات ليس لها أي محور جيد التحدُّد. ما يخبرنا به في الواقع لفّ Spin أحد الجسيمات هو ما يبدو عليه الجسيم من الاتجاهات المختلفة. فالجسيم الذي يكون لفه صفرًا يشبه النقطة: فهو يبدو متماثـلًا فمن كل اتجـاه شكل (5-i-1). ومن الجهة الأخرى فإن جسيمًا لفّه 1 يشبه السهم: فهو يبدو مختلفًا من الاتجاهات المختلفة شكل (5-ii-1). ولا يبدو هذا الجسيم متماثلًا إلا إذا لفَّه المرء ليدور دورة كاملة (360 درجة). والجسيم الذي يكون لفّه 2، يشبه سهمًا ذا رأسين شكل (5-iii-1): فهو يبدو متماثلًا لو لفَّه المرء ليدور نصف دورة (180 درجة).



شكل (5-1)

وبالمثل، فإن الجسيمات ذات اللف الأكبر تبدو متماثلة لو لفَّها المرء لأجزاء أصغر من الدورة الكاملة. ويبدو هذا كله أمرًا مباشرًا إلى حدٍّ ما، ولكن الحقيقة الرائعة هي أن هناك جسيمات لا تبدو متماثلة إذا لفها المرء لتدور دورة واحدة فحسب وإنما يكون عليك أن تلفها لتدور دورتين كاملتين! ويُقال إن مثل هذه الجسيمات لها لف 1/ 2.

كل الجسيمات المعروفة في الكون يمكن تقسيمها إلى مجموعتين: جسيمات لفها 1/ 2، تصنع المادة التي في الكون، وجسيمات لفها صفر، و1، و2، وهي كما سوف نرى، تنشأ عنها القوى التي بين جسيمات المادة. تخضع جسيمات المادة لما يسمَّى مبدأ الاستبعاد لبولي. وهو مبدأ اكتشفه الفيزيائي النمساوي ولفجانج بولي في عام 1925 وحاز بسببه جائزة نوبل في عام 1945. وبولي كان فيزيائيًا منظِّرًا نموذجيًا، ويُقال عنه إن مجرد وجوده في مدينة ما يجعل أي تجربة تُجرى فيها تفشل! ومبدأ الاستبعاد لبولي يقول إن الجسيمين المتماثلين لا يمكن أن يوجدا في الحالة نفسها. أي أنهما لا يمكن أن يكون لهما معًا الموضع نفسه والسرعة نفسها، وذلك في حدود ما يفرضه مبدأ الريبة. ومبدأ الاستبعاد حاسم لأنه يفسِّر لنا سبب عدم تقلُّص جسيمات المادة إلى حالة من كثافة عالية جدًا تحت تأثير القوى الناتجة عن الجسيمات ذات اللف صفر، و1، و2: فإذا كانت جزئيات المادة لها ما يقرب من أن يكون الموضع نفسه، فإنه يجب أن تكون لها

سرعات مختلفة، الأمر الذي يعني أنها لن تبقى طويلًا في الموضع نفسه. لو كان العالم مخلوقًا دون مبدأ الاستبعاد، فإن الكواركات لم تكن لتشكِّل بروتونات ونيوترونات منفصلة وجيدة التحديد، ولما كانت البروتونات والنيوترونات بالإضافة إلى الإلكترونات تشكل ذرات منفصلة جيدة التحدُّد. وإنما كانت كلها ستتقلص لتشكل ما هو على وجه التقريب «حساءً» كثيفًا متسقًا.

لم يتأتَّ الفهم الصحيح للإلكترون والجسيمات الأخرى التي من لف 1/ 2 حتى عام 1928، عندما طرح بول ديراك نظريته، وقد تم انتخابه في ما بعد لكرسي لوكاس لأستاذية الرياضيات في كمبردج (كرسي الأستاذية نفسه الذي شغله نيوتن ذات مرة، والذي أشغله أنا الآن). ونظرية ديراك كانت أول نظرية من نوعها تتواءم مع كل من ميكانيكا الكم ونظرية النسبية الخاصة. وهي تفسِّر رياضيًا السبب في أن الإلكترون له لف 1/ 2، أي أنه لا يبدو متماثلًا لو أنك لففته ليدور دورة كاملة واحدة فقط، ولكنه يبدو متماثلًا لو لففته ليدور مرتين. وتنبَّأت النظرية أيضًا بأن الإلكترون ينبغي أن يكون له رفيق: هو مضاد الإلكترون، أو البوزيترون. واكتشاف البوزيترون في عام 1932 قد أثبت نظرية ديراك، وأدى إلى فوزه بجائزة نوبل للفيزياء في عام 1933. ونحن نعرف الآن أن ثمَّة جسيمًا مضادًا لكل جسيم، يمكن أن يفنيا معًا. (في حالة الجسيمات الحاملة للقوى، تكون مضادات الجسيمات مماثلة للجسيمات نفسها). ومن الممكن أن توجد مضادات لعوالم

ولأناس بأسرها تتكون من مضادات الجسيمات. على أنك لو قابلت مضاد نفسك، فإياك أن تصافحه! فإنكما ستتلاشيان معًا في ومضة ضوء هائلة. والسبب في أنه يوجد حولنا في ما يبدو جسيمات أكثر كثيرًا من مضادات الجسيمات هو أمر بالغ الأهمية، وسوف أعود له في ما بعد في هذا الفصل.

في ميكانيكا الكم، يفترض أن القوى أو التفاعلات في ما بين جسيمات المادة هي كلها محمولة بواسطة جسيمات ذات لف تام، من صفر، أو 1 أو2. وما يحدث هو أن جسيم المادة، من مثل الإلكترون أو الكوارك، يبعث جسيمًا حاملًا القوة. والارتداد من هذا الانبعاث يغيِّر سرعة جسيم المادة. ثم يصطدم الجسيم الحامل للقوة بجسيم مادة آخر ويتم امتصاصه. وهذا الاصطدام يغيِّر من سرعة الجسيم الثاني، تمامًا كما لو كانت هناك قوة بين جسيمي المادة الاثنين.

من الخواص المهمة للجسيمات الحاملة للقوة أنها لا تخضع لمبدأ الاستبعاد. ويعني هذا أنه لا حدود لعدد ما يمكن تبادله، وهكذا فإنها تستطيع أن تُنشئ قوة قوية. إلا أن جسيمات حمل القوة إذا كانت ذات كتلة عالية، فإنه سيكون من الصعب إنتاجها وتبادلها عبر مسافة كبيرة. وهكذا سيكون للقوى المحمولة بها مدى قصير فحسب. ومن الناحية الأخرى، إذا كانت الجسيمات الحاملة للقوة ليس لها كتلة تخصها هي نفسها، فإن القوى سيكون لها مدى طويل. جسيمات حمل القوة التي يتم تبادلها بين

جسيمات المادة يُقال عنها إنها جسيمات تقديرية Virtual لأنها بخلاف الجسيمات «الحقيقية» لا يمكن الكشف عنها مباشرة بكشَّاف للجسيمات. على أننا نعرف بوجودها، لأن لها بالفعل مفعولًا قابلًا للقياس: فهي تنشيء القوى في ما بين جسيمات المادة. جسيمات لف صفر، أو1 أو2 توجد بالفعل أيضًا في بعض الظروف كجسيمات حقيقية، حيث يمكن الكشف عنها مباشرة. وهي تبدو عندها بما سيسمِّيه الفيزيائي الكلاسيكي «الموجات»، مثل موجات الضوء أو موجات الجاذبية. وهي قد تنبعث أحيانًا عندما تتفاعل جسيمات المادة أحدها مع الآخر بواسطة تبادل الجسيمات التقديرية الحاملة للقوة. (وكمثال، فإن قوة التنافر الكهربية بين إلكترونين ترجع إلى تبادل فوتونات تقديرية، لا يمكن قط الكشف عنها مباشرة؛ ولكن إذا تحرَّك أحد الإلكترونات عبر الآخر، فإن الفوتونات الحقيقية قد تنبعث، ونكشف عنها كموجات ضوء).

يمكن تقسيم جسيمات حمل القوى إلى أربعة أصناف حسب شدة القوة التي تحملها والجسيمات التي تتفاعل معها. وينبغي التأكيد على أن هذا التقسيم إلى أربعة أصناف قد صُنع بواسطة الإنسان؛ وهو مفيد لبناء النظريات الجزئية، إلا أنه قد لا يكون مناظرًا لأي شيء أعمق. وفي النهاية فإن معظم الفيزيائيين يأملون في العثور على نظرية موحَّدة تفسِّر كل القوى الأربع على أنها أوجه مختلفة لقوة وحيدة. والحقيقة أن الكثيرين سيقولون إن هذا

هو الهدف الرئيسي للفيزياء اليوم. وقد أُجريت أخيرًا محاولات ناجحة لتوحيد ثلاثة من الأصناف الأربعة للقوةK وسوف أصفها في هذا الفصل. ومسألة توحيد الصنف الباقي، أي الجاذبية، سنتركها لما بعد.

الصنف الأول من القوى هو قوة الجاذبية. وهذه القوة شاملة، أي أن كل جسيم يحس بقوة الجاذبية، حسب كتلته أو طاقته. والجاذبية هي أضعف القوى الأربع إلى حدٍّ كبير؛ وهي من الضعف بحيث ما كنَّا لنلحظها مطلقًا لو لا أن لها صفتين خاصتين: أنها تستطيع العمل عبر مسافات كبيرة، وأنها دائمًا تجذب. يعني هذا أن قوى الجاذبية الضعيفة جدًا بين الجسيمات الفردية في جسمَين كبيرَيْن، مثل الأرض والشمس، يمكن أن تتضايف كلها لتنتج قوة لها دلالتها. القوى الثلاث الأخرى هي إما قصيرة المدى، أو أنها أحيانًا تتجاذب وأحيانا تتنافر، بحيث تنزع إلى أن تصبح ملغاة. بالنظر إلى مجال الجاذبية بطريقة ميكانيكا الكم، فإن القوة التي بين جسمَيْن من المادة تصوَّر على أنها محمولة بجسيم من لف 2 يسمَّى جرافيتون. وهو ليس له كتلة خاصة به، وهكذا فإن القوى التي يحملها ذات مدى طويل. وقوة الجاذبية بين الشمس والأرض ترجع إلى تبادل الجرافيتونات بين الجسيمات التي تكوّن هذين الجسمَيْن. ورغم أن الجسيمات المبادلة تقديرية إلا أنها بالتأكيد تُنتج بالفعل تأثيرًا يمكن قياسه، فهي تجعل الأرض تدور حول الشمس! الجرافيتونات الحقيقية تؤلِّف ما

سوف يسمِّيه الفيزيائيون الكلاسيكيون «موجات جاذبية»، وهي ضعيفة جدًّا، ويصعب جدًّا الكشف عنها حتى إنها لم يتم رصدها قط حتى الآن.

والصنف الثاني هو القوة الكهرومغناطيسية، التي تتفاعل مع الجسيمات المشحونة كهربيًا مثل الإلكترونات والكواركات، ولكنها لا تتفاعل مع الجسيمات غير المشحونة مثل الجرافيتونات، وهي أقوى كثيرًا من قوة الجاذبية: فالقوة الكهربية بين إلكترونين أكبر من قوة الجاذبية بما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون ضعفًا (1 يعقبه اثنان وأربعون صفرًا). على أن هناك نوعين من الشحنات الكهربائية، الموجبة والسالبة. القوة بين شحنتين موجبتين متنافرة، مثلما تكون القوة بين شحنتين سالبتَين، ولكن القوة بين شحنة موجبة وشحنة سالبة تكون متجاذبة. الجسيم الكبير، مثل الأرض أو الشمس، يحوي تقريبًا أعدادًا متساوية من الشحنات الموجبة والسالبة. وهكذا فإن قوى التنافر والتجاذب بين الجسيمات الفردية تلغي إحداها الأخرى، ويكون القدر الصافي من القوة الكهرومغناطيسية صغيرًا جدًّا. على أنه بالمقاييس الصغيرة للذرات والجزيئات، فإن القوى الكهرومغناطيسية هي التي تسود. الجذب الكهرومغناطيسي بين الإلكترونات ذات الشحنة السالبة والبروتونات ذات الشحنة الموجبة في النواة يجعل الإلكترونات تدور حول نواة الذرة، تمامًا مثلما يسبِّب شد الجاذبية دوران الأرض حول الشمس. يُصوَّر

الجذب الكهرومغناطيسي على أنه ناجم عن تبادل أعداد كبيرة من جسيمات تقديرية لا كتلة لها هي من لف 1، تسمَّى الفوتونات. ومرة أخرى فإن الفوتونات التي يتم تبادلها هي جسيمات تقديرية. إلا أنه عندما يبدِّل أحد الإلكترونات أحد المدارات المسموح بها له إلى آخر أقرب للنواة، فإن الطاقة تنطلق وينبعث فوتون حقيقي – يمكن رصده بالعين البشرية كضوء مرئي، إذا كان له طول الموجة المناسب، أو بكشَّاف للفوتون مثل الفيلم الفوتوغرافي. ويساوي ذلك، أنه عندما يصطدم فوتون حقيقي بذرّة، فإنه قد يحرِّك إلكترونًا من مدار أقرب للنواة إلى آخر أبعد عنها. يؤدي هذا إلى استهلاك طاقة الفوتون. فيتم امتصاصه.

والصنف الثالث هو ما يسمَّى القوة النووية الضعيفة، وهي المسؤولة عن النشاط الإشعاعي وهي التي تعمل على كل جسيمات المادة من لف 1/ 2، ولكنها لا تعمل على جسيمات من لف صفر، أو 1 أو2، مثل الفوتونات والجرافيتونات. القوة النووية الضعيفة لم تُفهم جيدًا حتى عام 1967، عندما طرح كل من عبد السلام في الكلية الإمبراطورية بلندن، وستيفن واينبرج في هارفارد نظريات توحِّد هذا التفاعل مع القوة الكهرومغناطيسية، تمامًا مثلما وجد مكسويل الكهرباء والمغناطيسية قبل ذلك بما يقرب من مائة عام. وقد اقترحا أنه بالإضافة إلى الفوتون، ثمَّة ثلاثة جسيمات أخرى من لف 1، تعرف معًا ببوزونات التوجه ذات الكتلة massive vector bosons، وهي التي تحمل القوة

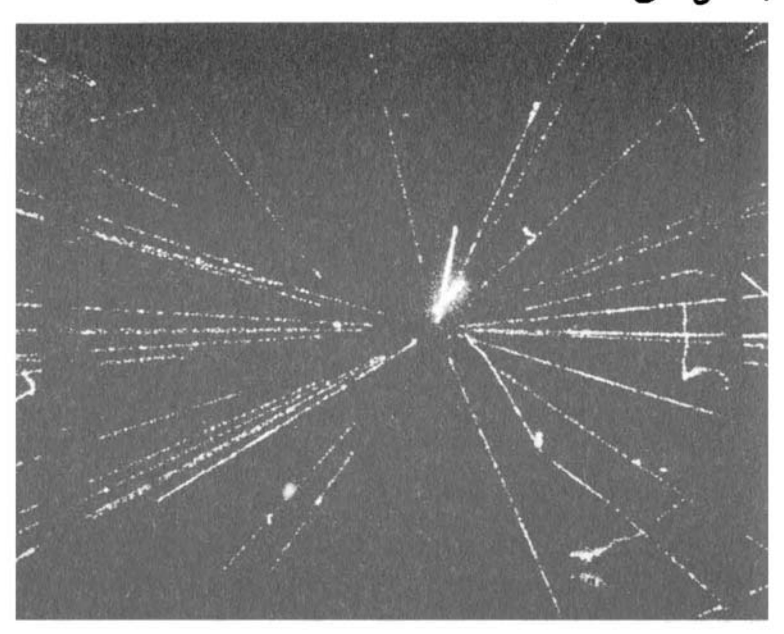
الضعيفة. وقد سُمِّيت w+ (وتُنطق w بلاس أي (زائد)، و w- (وتنطق w مايناس «أي ناقص») و Z° (وتنطق Z نوت «أي صفر»)، ولكل منها كتلة تبلغ نحو 100 جي في GeV (وجي في ترمز لجيجا فولت إلكترون، أو ألف مليون من فولتات الإلكترون). نظرية واينبرج - سلام تظهر خاصية تعرف بكسر التناظر[1] تلقائيًا. يعني هذا أن ما يبدو على أنه عدد من جسيمات مختلفة تمامًا عند الطاقات المنخفضة، هي في الحقيقة كلها النوع نفسه من الجسيم، وإنما في حالات مختلفة. ففي الطاقات العالية تسلك كل هذه الجسيمات بطريقة متماثلة. والنتيجة هي ما يكاد يشبه سلوك كرة الروليت على عجلة الروليت. فعند الطاقات العالية (عندما تُلف العجلة سريعًا) تسلك الكرة أساسًا بطريقة واحدة فقط، فهي تدور وتدور متدحرجة: ولكن إذ تبطئ العجلة، فإن طاقة الكرة تنقص، وتسقط الكرة في النهاية في أحد ثقوب العجلة السبعة والثلاثين. وبكلمات أخرى فعند الطاقات المخفضة هناك سبع وثلاثون حالة يمكن أن توجد فيها الكرة. إذا أمكننا وحسب لسبب ما أن نرصد الكرة عند الطاقات المنخفضة، فإننا سنظن وقتها أن هناك سبعة وثلاثين نوعًا مختلفًا من الكرات!

---

(1) التناظر Symmetry: خاصية تناظر نصفي الشكل الواحد حول محور معين، فجسم الإنسان على سبيل المثال يتمتع بتناظر ما، وينقسم إلى قسمين متناظرين، أيمن وأيسر. وهي خاصية موجودة في الرسم والزخارف والعمارة وفي الكثير من الكائنات الحية، وقد تتخذ أنماطًا أكثر تعقيدًا من التناظر حول محور واحد كما في حالة جسم الإنسان.

في نظرية واينبرج - سلام، فإنه عند الطاقات الأكبر كثيرًا من 100 جي في، تسلك الجسيمات الثلاثة الجديدة، بالإضافة إلى الفوتون، كلها بطريقة متماثلة. ولكن عند طاقات الجسيم المنخفضة التي تحدث في معظم المواقف الطبيعية، فإن هذا التناظر بين الجسيمات ينكسر. وسيكتسب W^+ و W^- و Z° كتلًا كبيرة، مما يجعل القوى التي تحملها ذات مدى قصير جدًا. وقت أن طرح عبد السلام وواينبرج نظريتهما، لم يؤمن بها إلا عدد قليل من الناس، وكانت معجلات الجسيمات ليست قوية بما يكفي للوصول إلى طاقات من 100 جي في وهي الطاقة المطلوبة لإنتاج جسيمات حقيقية من نوع W^+ و W^- و Z°. على أنه بمرور السنوات العشر التالية أو ما يقرب من ذلك. اتفقت التنبؤات الأخرى للنظرية عند الطاقات المنخفضة اتفاقًا ممتازًا مع التجربة بحيث مُنح عبد السلام وواينبرج في عام 1979 جائزة نوبل للفيزياء هما وشيلدون جلاشو، وهو أيضًا من هارفارد، وهو الذي طرح نظريات موحَّدة مشابهة، للقوى الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة. وقد نجت لجنة نوبل من حرج الوقوع في خطأ، بأن تم في عام 1983 في المركز الأوربي للبحث النووي اكتشاف رفاق الفوتون الثلاثة ذوي الكتلة، مع صحة الكتل المتنبَّأ بها هي والخواص. تلقَّى كارلوروبيا، الذي قاد فريقًا من عدة مئات من الفيزيائيين الذين قاموا بهذا الكشف، جائزة نوبل في عام 1984، هو وسيمون فاندريرمير، مهندس المركز الأوربي للبحث النووي الذي أنشأ نظام التخزين المستخدم لمضاد المادة. (من الصعب

جدًا في هذه الأيام إحراز سبق في الفيزياء التجريبية إلا إذا كنت بالفعل على القمة!).



شكل (2-5) "يصطدم بروتون ومضاد بروتون عند طاقة عالية، لينتج زوج كواركات تكاد تكون حرة".

والصنف الرابع هو القوة النووية القوية، التي تمسك بالكواركات معًا في البروتون والنيوترون، وتمسك البروتونات والنيوترونات معًا في نواة الذرة. ومما يعتقد أن هذه القوة يحملها جسيم آخر من لفّ 1 يسمَّى جلون **gluon** يتفاعل فقط مع نفسه ومع الكواركات. القوة النووية القوية لها خاصيّة غريبة تسمَّى التقيد confinement: فهي دائمًا تربط الجسيمات معًا في توليفات

عديمة اللون. لا يستطيع المرء أن يجــد كواركًا وحيدًا بذاته لأنه سيكون له لون (أحمر، أو أخضر، أو أزرق). وبدلًا من ذلك فإن الكوارك الأحمر يجب أن ينضم إلى كوارك أخضر وكوارك أزرق بواسطة «خيط» من الجلونات (أحمر + أخضر + أزرق = أبيض). ومثل هذا الثلاثي يؤلِّف بروتونًا أو نيوترونًا. هناك إمكان آخر هو أن يكون ثمَّة ثنائي يتألَّف من كوارك ومضاد كوارك (أحمر + مضاد أحمر، أو أخضر + مضاد أخضر، أو أزرق + مضاد أزرق = أبيض). وهذه التوليفات هي التي تؤلِّف الجسيمات المعروفة بالميزونات mesons، وهي غير مستقرة لأن الكوارك ومضاد الكوارك يمكن أن يُفني أحدهما الآخر، لتنتج إلكترونات وجسيمات أخرى. وبالمثل، فإن التقيُّد يمنع أن يجد المرء جلون وحيدًا بذاته، لأن الجلونات أيضًا لها لون. وبدلًا من ذلك يجب أن يجد المرء مجموعة من الجلونات تتضايف ألوانها إلى الأبيض. وهذه المجموعة تشكِّل جسيمًا غير مستقر يسمَّى كرة اللصق glueball.

حقيقة أن التقيُّد يمنع أن يرصد المرء كوارك أو جلون منعزلًا قد يبدو أنها تجعل فكرة وجود الكواركات والجلونات كجسيمات أمرًا ميتافيزيقيًا بعض الشيء. على أن هناك خاصية أخرى للقوة النووية القوية، تسمَّى حرية الخط المقارب asymptotic freedom، تجعل مفهوم الكواركات والجلونات محدَّدًا على نحو جيد. فعند الطاقات العادية، تكون القوة النووية القوية هي حقًا قوية، وتربط

الكواركات معًا بحُزَم. على أن تجارب معجلات الجسيمات الكبيرة تدل على أنه عند الطاقات العالية تصبح القوة القوية أضعف كثيرًا، وتسلك الكواركات والجلونات بما يكاد يماثل الجسيمات الحرة. ويبيِّن شكل (5-2) صورة ضوئية لاصطدام بين بروتون ذي طاقة عالية ومضاد البروتون. ونتجت كواركات عديدة تكاد تكون حرة، نشأت عنها «نوافير» من المسارات التي تُرى في الصورة.

لقد أدَّى نجاح توحيد القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة إلى عدد من المحاولات للجمع بين هاتين القوتين مع القوة النووية القوية في ما يسمَّى النظرية الموحَّدة العظمى Grand Unifed Theory، (أو GUT). وهذا العنوان فيه مبالغة نوعًا ما: فالنظريات الناتجة ليست بكل هذه العظمة، ولا هي موحَّدة بالكامل، لأنها لا تتضمَّن الجاذبية. ولا هي بالنظريات الكاملة حقًا، لأنها تحوي عددًا من المعالم (parameters) لا يمكن التنبؤ بقيمتها من خلال النظرية ولكنها يجب أن تُختار بحيث تتواءم مع التجربة. ومع ذلك، فإن هذه النظريات قد تكون خطوة تجاه نظرية كاملة موحَّدة بالكامل. والفكرة الأساسية في نظريات GUT هي كالتالي: كما ذُكر أعلاه، فإن القوة النووية القوية تصبح ضعيفة عند الطاقات العليا. ومن الناحية الأخرى فإن القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة، التي ليست لديها حرية الخط المقارب، تصبح أقوى عند الطاقات العالية. وعند طاقة ما عالية جدًا، تسمَّى طاقة

التوحيد العظمى، تكون لهذه القوى الثلاث كلها الشِدّة نفسها وهكذا فإنها يمكن أن تكون أوجهًا مختلفة لقوة وحيدة فحسب. نظريات GUT تتنبأ أيضًا بأنه عند هذه الطاقة فإن جسيمات المادة المختلفة من لف 1/ 2، مثل الكواركات والإلكترونات، تصبح أيضًا متماثلة أساسًا، وهكذا يتم إنجاز توحيد آخر.

قيمة طاقة التوحيد العظمى ليست معروفة بصورة جيدة، ولكنها في ما يحتمل يلزم أن تكون على الأقل من ألف مليون مليون جي في. الجيل الحالي من معجلات الجسيمات يستطيع أن يصدم الجسيمات على طاقات تبلغ نحو مائة جي في، وتوضع خطط لماكينات ترفع هذا إلى آلاف معدودة من وحدات جي في. على أن الماكينة القوية بما يكفي لتعجيل الجسيمات للطاقة الموحَّدة العظمى ينبغي أن تكون في حجم النظام الشمسي، ولا يحتمل أن يتم تمويلها في المناخ الاقتصادي الحالي. وهكذا فإن من المستحيل اختبار النظريات الموحَّدة العظمى مباشرة، في المعمل. على أنه تمامًا كما في حالة النظرية الموحَّدة للقوى الكهرومغناطيسية والضعيفة، فإن هناك نتائج للنظرية عند الطاقة المنخفضة يمكن اختبارها.

أكثر تلك النتائج إثارة للاهتمام هي التنبؤ بأن البروتونات؛ التي تكوِّن الكثير من كتلة المادة العادية، يمكن أن تتحلَّل تلقائيًا إلى جسيمات أخف مثل مضادات الإلكترون. السبب في إمكان ذلك هو أنه عند طاقة التوحيد العظمى لا يكون ثمَّة فارق جوهري بين

الكوارك ومضاد الإلكترون. الكواركات الثلاثة داخل البروتون هي طبيعيًا ليس فيها من الطاقة ما يكفي لتغيرها إلى مضادات الإلكترون، ولكن قد يحدث على نحو عرضي جدًا أن يكتسب أحدها من الطاقة ما يكفي لصنع هذا التحول؛ لأن مبدأ الريبة يعني أن طاقة الكواركات التي في داخل البروتون لا يمكن أن تكون ثابتة بالضبط. سوف يتحلَّل البروتون عند ذاك. احتمال أن يكتسب أحد الكواركات الطاقة الكافية هو احتمال جد منخفض بحيث أنه يحتمل أن يكون على المرء انتظاره على الأقل لمليون مليون مليون مليون مليون سنة (1 يتبعه ثلاثون صفرًا). وهذا زمن أطول كثيرًا من الزمن منذ الانفجار الكبير، وهو مجرد عشرة آلاف مليون عام أو ما يقرب من ذلك (1 يتبعه عشرة أصفار). وهكذا فإن المرء قد يظن أن احتمال تحلل البروتون تلقائيًا لا يمكن اختباره تجريبيًا. على أن المرء يستطيع زيادة فرص اكتشاف تحلل ما بأن يرقب قدرًا كبيرًا من المادة يحوي عددًا كبيرًا جدًا من البروتونات. (فلو راقب المرء مثلًا عددًا من البروتونات يساوي 1 يتبعه واحد وثلاثون صفرًا لفترة عام واحد، فإنه من المتوقَّع، حسب أبسط نظريات GUT، أن يرصد تحلُّل أكثر من بروتون واحد).

أُجري عدد من تجارب مماثلة، ولكن لم تؤدِّ أي منها إلى برهان حاسم على تحلل البروتون أو النيوترون. استخدمت إحدى التجارب ثمانية آلاف طن من الماء، وتم إجراؤها في منجم ملح بمورتون بأوهايو (لتجنب وقوع أي أحداث أخرى

ناجمة عن الأشعة الكونية، ما قد يختلط أمره مع تحلل البروتون).
وحيث إنه لم يتم رصد تحلل تلقائي للبروتون أثناء التجربة، فإن المرء يستطيع أن يحسب طول الحياة المحتمل للبروتون بأنه أكبر من عشرة مليون مليون مليون مليون مليون سنة (1 يتلوه ثلاثون صفرًا). وهو أطول من طول الحياة التي تتنبأ به أبسط نظرية موحَّدة عظمى، على أن هناك نظريات أكثر إتقانًا تكون فيها أطوال الحياة المتنبأ بها أطول. على أن اختبارها سيحتاج إلى تجارب أكثر حساسية وتتضمَّن حتى كميات أكبر من المادة.

ورغم أن من الصعب جدًا رصد التحللِ التلقائي للبروتون، إلا أن الأمر قد يكون أن وجودنا ذاته هو نتيجة للعملية العكسية، عملية إنتاج البروتون. أو ببساطة أكثر، إنتاج الكواركات، من وضع أصلي حيث عدد الكواركات لا يزيد فيه على عدد مضادات الكواركات، وهذه أكثر طريقة طبيعية لتخيُّل بدء نشأة الكون. المادة على الأرض تتألف أساسًا من البروتونات والنيوترونات، التي تتألف بدورها من الكواركات. وليست هناك مضادات بروتونات أو مضادات نيوترونات تتألف من مضادات الكواركات، فيما عدا قلة ينتجها الفيزيائيون في معجلات كبيرة للجسيمات. لدينا برهان من الأشعة الكونية على أن الشيء نفسه يصدق أيضًا على كل المادة في مجرتنا: ليست هناك مضادات بروتونات ولا مضادات نيوترونات في ما عدا عدد قليل يتم إنتاجه كأزواج من جسيم/ مضاد الجسيم في اصطدامات ذات طاقة

عالية. لو كانت هناك مناطق كبيرة من مضاد المادة في مجرتنا، لتوقَّعنا أن نرصد كميات كبيرة من الإشعاع من الحدود التي بين مناطق المادة ومضادات المادة، حيث ستصطدم جسيمات كثيرة مع مضاداتها، ويفني أحدها الآخر، وتبعث إشعاعًا عالي الطاقة.

ليس لدينا دليل مباشر يؤكد إذا ما كانت المادة في المجرات الأخرى تتألف من بروتونات ونيوترونات أو مضادات البروتونات ومضادات النيوترونات، على أن الأمر يجب أن يكون إما هذا أو ذاك: ولا يمكن أن يكون ثمَّة خليط في مجرة واحدة، لأننا في هذه الحالة سوف نرصد ثانية الكثير من الإشعاع الناتج من الإفناءات. فنحن إذن نؤمن بأن كل المجرات تتكون من كواركات عوضًا عن مضادات الكواركات؛ ويبدو من غير المعقول أنه ينبغي أن تكون بعض المجرات من المادة وبعضها من مضاد المادة.

لماذا ينبغي أن تكون هناك كواركات أكثر بكثير من مضادات الكواركات؟ لماذا لا يوجد عدد متساوٍ من كلتيهما؟ من المؤكد أنه من حسن حظنا أن الأعداد ليست متساوية، لأنها لو كانت متماثلة، فإن ما يقرب من كل الكواركات ومضاداتها كانت سيُفني أحدها الآخر في الكون المبكِّر لتترك كونًا مليئًا بالإشعاع ولا يكاد يحوي أي مادة، ووقتها لن تكون ثمَّة مجرات، أو نجوم، أو كواكب يمكن أن تنشأ عليها حياة بشرية. لحسن الحظ، فإن النظريات الموحَّدة العظمى قد تمد بتفسير ما للسبب في أن الكون ينبغي أن يحوي الآن كواركات أكثر من مضادات

الكواركات، حتى ولو بدأ الكون بعدد متساوٍ من كلتيهما. وكما رأينا فإن نظريات GUT تسمح للكواركات بأن تتغيَّر إلى مضادات الإلكترونات عند الطاقة العالية. وهي تسمح أيضًا بالعمليات العكسية، أي بأن تتحوَّل مضادات الكواركات إلى الإلكترونات، والإلكترونات ومضادات الإلكترونات تتحوَّل إلى مضادات الكواركات. وقد كان ثمَّة وقت في الكون المبكر جدًا الحرارة فيه عالية جدًا بحيث إن طاقات الجسيمات كانت عالية بما يكفي لوقوع هذه التحولات. ولكن لماذا ينبغي أن يؤدِّي ذلك إلى وجود عدد من الكواركات أكثر من مضادات الكواركات؟ السبب هو أن قوانين الفيزياء تتماثل تمامًا بالنسبة للجسيمات ومضاداتها.

حتى عام 1956 كان يُعتقد أن قوانين الطبيعة تخضع لكل من ثلاثة تناظرات منفصلة تسمَّى C .P .T. وتناظر C تعني أن القوانين متماثلة للجسيمات ومضاداتها. وتناظر P تعني أن القوانين متماثلة بالنسبة لأي وضع ولصورته في المرآة (صور المرآة لجسيم يلف في اتجاه إلى اليمين هي جسيم يلف في اتجاه إلى اليسار). وتناظر T تعني أنك لو عكست اتجاه حركة كل الجسيمات ومضادات الجسيمات، فإن النظام ينبغي أن يرتد ثانية إلى ما كان عليه في الأزمنة السابقة؛ وبكلمات أخرى فإن القوانين تتماثل في الاتجاهين الأمامي والخلفي للزمان.

في عام 1956 اقترح فيزيائيان أمريكيان، هما تسونج داو لي وتشن ننج يانج، أن القوة الضعيفة لا تخضع في الحقيقة لتناظر P.

وبكلمات أخرى، فإن القوة الضعيفة ستجعل الكون ينشأ بطريقة مختلفة عن الطريقة التي ستنشأ بها صورة المرآة للكون. وفي السنة نفسها أثبتت إحدى الزميلات، وهي شين - سيونج ووه، أن هذا التنبؤ صحيح. وقد فعلت ذلك بأن رصّت نوى ذرات مشعَّة في مجال مغناطيسي، بحيث تلفّ كلها في الاتجاه نفسه، وبينت أن الإلكترونات كانت تنبعث في أحد الاتجاهات أكثر من الآخر. في السنة التالية تلقَّى لي ويانج جائزة نوبل عن فكرتهما. وقد وُجد أيضًا أن القوة الضعيفة لا تخضع لتناظر C. أي أنها ستتسبَّب في أن الكون الذي يتكوَّن من مضادات الجسيمات يسلك على نحو مختلف عن كوننا. ومع كل هذا، يبدو أن القوة الضعيفة تخضع فعلًا للتناظر المجمَّع CP. أي أن الكون سينشأ بالطريقة نفسها مثل صورته في المرآة، لو حدث بالإضافة إلى تبديل كل جسيم بمضاده! على أن أمريكيَّيْن آخرَين، هما ج. و. كرونين، وفال فتش، اكتشفا في عام 1964 أنه حتى تناظر CP لا يتم الخضوع لها عند تحلل جسيمات معينة تسمَّى ميزونات - ك، K - mesons. وقد تلقَّى كرونين وفتش في النهاية جائزة نوبل عن بحثهما، وذلك في عام 1980. (تم منح جوائز كثيرة لإظهار أن الكون ليس بالبساطة التي قد نظن أنه عليها!).

ثمَّة مبرهنة رياضية تقول إن أي نظرية تخضع لمكيانيكا الكم وللنسبية يجب دائمًا أن تخضع للتناظر المجمَّع CPT. وبكلمات أخرى، يكون على الكون أن يسلك سلوكًا متماثلًا لو استبدل

المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة المرآة، وعكس أيضًا اتجاه الزمان. على أن كرونين وفتش قد بيَّنا أنه لو استبدل المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة المرآة، ولكنه لم يعكس اتجاه الزمان، فإن الكون إذن «لا» يسلك السلوك نفسه. وإذن فإن قوانين الطبيعة يجب أن تتغيَّر لو أن المرء عكس اتجاه الزمان، فهي لا تخضع لتناظر T.

من المؤكَّد أن الكون المبكر لا يخضع لتناظر T: مع امتداد الزمان يتمدَّد الكون وإذا امتد إلى الوراء، فسوف يتقلص الكون. وحيث إن هناك قوى لا تخضع لتناظر T، فإنه يتبع ذلك أن الكون عندما يتمدَّد، فإن هذه القوى يمكن أن تسبِّب تحوُّل مضادات الإلكترونات إلى كواركات أكثر من تحول الإلكترونات إلى مضادات الكواركات. وإذن فإنه إذ يتمدَّد الكون ثم يبرد، فإن مضادات الكواركات تفنى مع الكواركات، ولكن حيث إنه ستكون هناك كواركات أكثر من مضاداتها، فسيبقى فائض صغير من الكواركات. وهذه هي التي تؤلِّف المادة التي نراها الآن والتي صُنعنا نحن أنفسنا منها. وهكذا فإن وجودنا ذاته يمكن النظر إليه كإثبات للنظريات الموحَّدة العظمى، وإن كان هذا إثباتًا كيفيًا فقط؛ وأوجه الريبة هي بحيث إن المرء لا يتمكن من التنبُّؤ بعدد الكواركات التي ستُخلف بعد الإفناء، ولا حتى بما إذا كان ما سيبقى هو كواركات أو مضادات الكواركات. (على أنه لو كان الفائض من مضادات الكواركات لكنَّا ببساطة قد سمَّينا مضادات

الكواركات كواركات، والكواركات مضادات كواركات).

النظريات الموحَّدة العظمى لا تشمل قوة الجاذبية، وهذا لا يهم كثيرًا جدًا لأن الجاذبية قوة من الضعف بحيث إن تأثيراتها يمكن عادة إهمالها عندما نتعامل مع جسيمات أولية أو ذرات. على أن حقيقة أنها تتصف معًا بالمدى الطويل وبأنها دائمًا تجذب، تعني أن تأثيراتها كلها تُضاف إلى بعضها بعضًا. وهكذا فبالنسبة لجسيمات المادة التي يكون عددها كبيرًا بما يكفي، فإن قوى الجاذبية قد تغلب على كل القوى الأخرى. وهذا هو السبب في أن الجاذبية هي التي تحدِّد تطوُّر الكون. وحتى بالنسبة للأشياء من حجم النجوم، فإن القوى الجاذبة للجاذبية تستطيع الفوز على كل القوى الأخرى وتسبب تقلُّص النجم. كان عملي في السبعينيات مركِّزًا على الثقوب السوداء التي قد تنجم من مثل هذا التقلّص النجمي، وعلى مجالات الجاذبية الشديدة من حولها. وكان هذا ما أدى إلى الإشارات الأولى عن كيف أن نظريات ميكانيكا الكم والنسبية العامة قد تؤثر إحداها في الأخرى، وفي هذا لمحة من شكل نظرية كم للجاذبية التي سوف تأتي ذات يوم.

* * *

(6)

الثقوب السوداء

إن أصل مصطلح «الثقب الأسود» حديث جدًا. فقد صاغه في عام 1969 العالم الأمريكي جون هويلر كوصف تصويري لفكرة ترجع إلى الوراء حتى مائتي عام على الأقل، إلى وقت كانت فيه نظريتان عن الضوء: إحداهما، التي كان نيوتن يحبِّذها، وهو أن الضوء يتكوَّن من جسيمات؛ والأخرى هي أنه يُصنع من موجات. ونحن نعلم الآن أن النظريتين هما في الواقع صحيحتان معًا. فبواسطة ازدواجية الموجة/ الجسيم في ميكانيكا الكم يمكن النظر إلى الضوء على أنه موجة وجسيم معًا. ولم يكن من الواضح كيف يستجيب الضوء للجاذبية حسب نظرية أنه مصنوع من الموجات. ولكن لو أن الضوء يتكون من جسيمات، فإن المرء قد يتوقع لها أن تتأثر بالجاذبية بالطريقة نفسها التي تتأثر بها قذائف المدفع، والصواريخ، والكواكب. كان الناس يعتقدون في أول الأمر أن جسيمات الضوء تنتقل بسرعة لا متناهية، وهكذا فإن الجاذبية لن تكون لها القدرة على تقليل سرعتها، ولكن اكتشاف رويمر أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية كان معناه أن الجاذبية قد يكون لها تأثير مهم.

وبهذا الفرض، كتب أحد أساتذة كمبردج، وهو جون ميتشيل، ورقة بحث في عام 1783 في «التقارير الفلسفية للجمعية الملكية بلندن» بيَّن فيها أن النجم الذي يكون له قدر كاف من الضخامة والاندماج سيكون له مجال جاذبية من القوة بحيث لا يتمكن الضوء من الهرب منه: وأي ضوء ينبعث من سطح النجم سيُجر إلى الخلف بشدة جاذبية النجم قبل ان يتمكَّن من أن يبتعد كثيرًا. واقترح متشيل أنه قد يكون عدد كبير من النجوم هكذا. ورغم أننا لن نتمكن من رؤيتها لأن ضوءها لن يصل إلينا، إلا أننا سنظل نحسّ بشَدّ جاذبيتها. وهذه الأشياء هي ما نسميها الآن الثقوب السوداء، لأن هذا هو ما تكوِّنه: فراغات سوداء في الفضاء. طرح العالم الفرنسي الماركيز دي لابلاس اقتراحًا مماثلًا بعد ذلك بسنوات معدودة، ومن الواضح أن ذلك كان على نحو مستقل عن ميتشيل. ومن الشيِّق بما يكفي، أن لابلاس ذكر اقتراحه في الطبعتين الأولى والثانية فقط من كتابه «نظام العالم»؛ وحذفه من الطبعات التالية؛ ولعله قرَّر أنه فكرة جنونية. (كما أن نظرية جسيمات الضوء كانت قد أصبحت غير محبَّذة أثناء القرن التاسع عشر؛ فقد بدا أن كل شيء يمكن تفسيره بنظرية الموجة؛ وحسب نظرية الموجة لم يكن من الواضح إن كان الضوء سيتأثَّر على الإطلاق بالجاذبية).

والحقيقة أنه ليس من الملائم أن نتناول الضوء وكأنه مثل قذائف المدفع في نظرية نيوتن للجاذبية، ذلك أن سرعة الضوء ثابتة. (قذيفة المدفع التي تُطلق من الأرض لأعلى، ستبطئ

سرعتها بالجاذبية وفي النهاية ستتوقف عن الحركة لتسقط ثانية؛ إلا أن الفوتون لا بد أن يستمر لأعلى بسرعة ثابتة. كيف يمكن إذن لجاذبية نيوتن أن تؤثِّر في الضوء؟ لم تأتِ نظرية متماسكة عن كيفية تأثير الجاذبية في الضوء حتى طرح آينشتاين النسبية العامة في عام 1915. وحتى آنذاك، فقد مر وقت طويل قبل أن تُفهم دلالات النظرية بالنسبة للنجوم الأضخم كتلة.

ومن أجل أن نفهم كيف يمكن أن يتكوَّن ثقب أسود، نحتاج أولًا إلى أن نفهم دورة حياة النجم. فالنجم يتكوَّن عندما تأخذ كمية كبيرة من الغاز (عادة الهيدروجين) في التقلص على نفسها للداخل بسبب شد جاذبيتها. وبينما هي تنكمش فإن ذرَّات الغاز تصطدم إحداها بالأخرى بتواتر أكثر وأكثر وسرعات أكبر وأكبر، ويسخن الغاز. في النهاية يبلغ من سخونة الغاز أنه عندما تصطدم ذرات الهيدروجين فإنها لا تعود بعدُ مرتدة إحداها عن الأخرى، وإنما هي بدلًا من ذلك تتلاحم لتكوِّن الهيليوم. والحرارة التي تنطلق في هذا التفاعل، والتي تشبه انفجارًا محكومًا لقنبلة هيدروجينية، هي ما يجعل النجم يسطع. تؤدِّي هذه الحرارة الإضافية أيضًا إلى زيادة ضغط الغاز حتى يصبح الضغط كافيًا للتوازن مع شد الجاذبية، ويتوقَّف الغاز عن الانكماش. الأمر يشبه البالونة نوعًا – فثمَّة توازن بين ضغط الهواء من داخلها، الذي يحاول أن يجعل البالونة تتمدَّد، وتوتر المطاط، الذي يحاول أن يجعل البالونة أصغر. وتظل النجوم مستقرة هكذا زمنًا طويلًا، وحرارة التفاعلات النووية توازن شد الجاذبية. على أنه في النهاية،

ينفد ما لدى النجم من الهيدروجين وغير ذلك من الوقود النووي. ومن المفارقة، أنه كلما زاد الوقود الذي يبدأ به النجم، فإنه ينفد بسرعة أكبر. وسبب ذلك أنه كلما كان النجم أضخم كتلة، احتاج لأن يسخن أكثر ليوازن شد جاذبيته. وكلما زادت سخونته، فإنه يستنفد وقوده بأسرع. وشمسنا في ما يُحتمل لديها من الوقود ما يكفي لخمسة آلاف مليون سنة أخرى أو ما يقرب من ذلك، إلا أن النجوم الأضخم يمكنها أن تستنفد وقودها في زمن قليل يقارب مائة مليون سنة، وهذا أقل كثيرًا من عمر الكون. عندما ينفد وقود نجم، فإنه يبرد وبالتالي ينكمش. لم يُفهم ما يمكن أن يحدث له بعدها إلا لأول مرة عند نهاية عشرينيات هذا القرن.

ففي عام 1928 كان طالب جامعي هندي، اسمه سبرامنيان تشاندراسيخار، يبحر إلى إنجلترا ليدرس في كمبردج مع فلكي بريطاني هو سير آرثر إدنجتون، أحد الخبراء في النسبية العامة. (حسب إحدى الروايات، أخبر صحفي ما إدنجتون في أوائل العشرينيات أنه قد سمع أنه لا يوجد سوى ثلاثة أفراد في العالم يفهمون النسبية العامة. وصمت إدنجتون، ثم أجاب «إنني أحاول أن أتذكر من هو الشخص الثالث»). أثناء رحلته من الهند، حسب تشاندر اسيخار إلى أي حد يمكن للنجم أن يكون كبيرًا ويظل مبقيًا على نفسه ضد جاذبيته نفسها بعد أن يستنفد كل وقوده. والفكرة كالتالي: عندما يصبح النجم صغيرًا، فإن جسيمات المادة تصبح متقاربة جدًا من بعضها، وهكذا حسب مبدأ بولي للاستبعاد، فإنه ينبغي أن تكون لها سرعات مختلفة جدًا، وهذا يجعلها تتحرَّك

مبتعدة عن بعضها، وهكذا فإن ذلك ينزع لأن يجعل النجم يتمدَّد. فالنجم إذن يستطيع أن يبقي نفسه في نصف قطر ثابت بالتوازن ما بين شد الجاذبية والتنافر الذي ينشأ عن مبدأ الاستبعاد، تمامًا مثلما كانت الجاذبية تتوازن بالحرارة في ما سبق من حياته.

على أن تشاندراسيخار تبيَّن أن هناك حدًا للتنافر الذي يمكن أن يمد به مبدأ الاستبعاد. نظرية النسبية تحدِّد أقصى فارق في سرعات جسيمات المادة في النجم بأنه سرعة الضوء. ويعني هذا أنه عندما يصبح النجم كثيفًا بما يكفي، فإن التنافر الذي يسبِّبه مبدأ الاستبعاد سيكون أقل من شد الجاذبية. وقد حسب تشاندراسيخار أن نجمًا باردًا تزيد كتلته عمَّا يقرب من كتلة الشمس مرة ونصف المرة لن يتمكَّن من الإبقاء على نفسه ضد جاذبيته نفسها. (تعرف هذه الكتلة الآن بأنها حد تشاندراسيخار). وقد تم اكتشاف مماثل في الوقت نفسه تقريبًا بواسطة عالم روسي هو ليف دافيدوفتش لانداو.

كان لهذا دلالات خطيرة بالنسبة للمصير النهائي للكواكب الضخمة. فإذا كانت كتلة النجم أقل من حد تشاندراسيخار فسيمكنه في النهاية أن يتوقَّف عن الانكماش وأن يستقر - في ما يحتمل - في حالة نهائية «كقزم أبيض» يكون نصف قطره آلافًا معدودة من الأميال وكثافته مئات الأطنان لكل بوصة مكعبة. القزم الأبيض يُبقى عليه - حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر - بين الإلكترونات التي في مادته. ونحن نرصد عددًا كبيرًا من هذه النجوم القزمة البيضاء. أحد أوائل ما اكتشف من هذه النجوم، نجم يدور حول الشعرى اليمانية، ألمع نجم في سماء الليل.

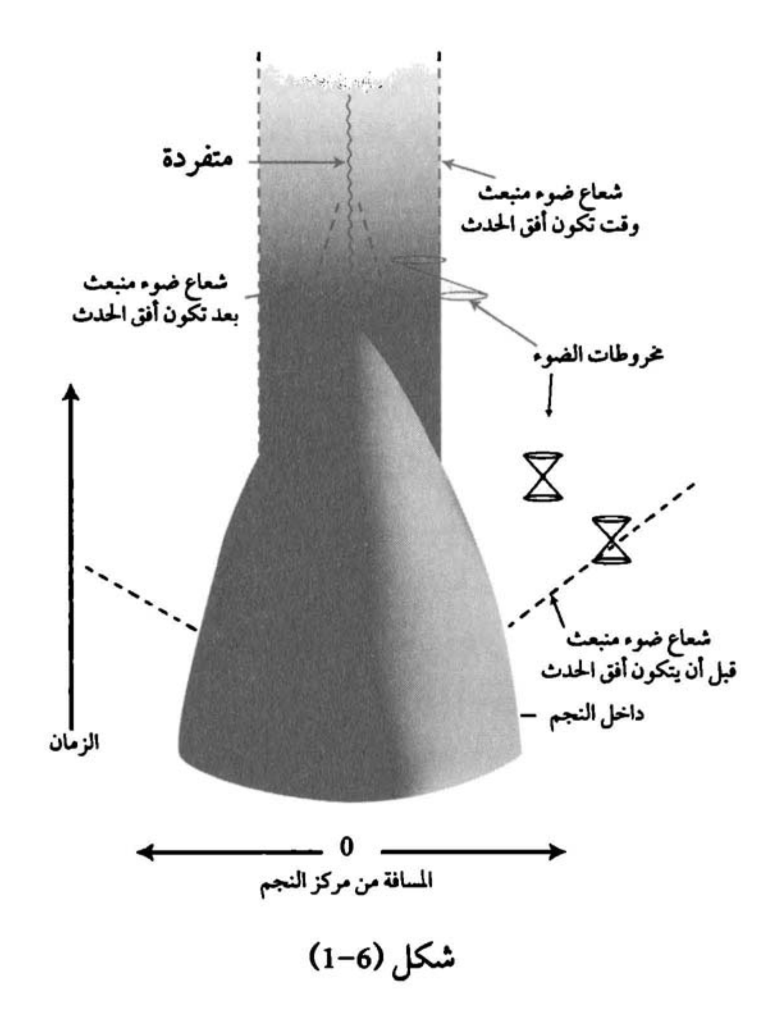
بيَّن لانداو أن ثمَّة حالة نهائية أخرى محتملة للنجم الذي يكون أيضًا في حدود كتلة تقترب من ضعف أو ضعفي كتلة الشمس، ولكنه يكون أصغر جدًا من القزم الأبيض. وهذه النجوم يُبقى عليها حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر بين النيوترونات والبروتونات بدلًا من التنافر بين الإلكترونات. ولذلك فهي تسمَّى نجوم النيوترون. ويكون لها نصف قطر من عشرة أميال فقط أو ما يقرب من ذلك وكثافتها مئات ملايين الأطنان لكل بوصة مكعبة. وقت أن تم التنبُّؤ بنجوم النيوترونات لأول مرة، لم تكن ثمَّة طريقة يمكن رصدها بها. ولم يتم اكتشافها بالفعل إلا بعد ذلك بكثير.

ومن الجانب الآخر، فإن النجوم التي تكون كتلتها فوق حد تشاندراسيخا يكون لديها مشكلة كبيرة عندما تصل إلى استنفاد وقودها. وفي بعض الحالات فإنها قد تنفجر أو تتمكن من أن تقذف بعيدًا بقدر من المادة فيه ما يكفي لتخفيض كتلتها لأقل من الحد وبهذا تتجنَّب كارثة التقلص بالجاذبية، على أنه من الصعب الإيمان بأن هذا هو ما يحدث دائمًا، مهما كان كبر النجم. كيف للنجم أن يعرف أن عليه أن يخفض وزنه؟ وحتى لو تمكَّن كل نجم من أن يفقد من المادة ما يكفي لتجنب التقلص، فماذا سيحدث لو أنك أضفت كتلة أكثر إلى قزم أبيض أو نجم نيوترون لتصل به إلى ما يتجاوز الحد؟ هل سيتقلص إلى كثافة لا متناهية؟ لقد صُدم إدنجتون بهذه الدلالة، ورفض أن يصدق نتيجة تشاندراسيخار. فقد أعتقد إدنجتون أنه ببساطة لا يمكن لنجم أن يتقلص إلى نقطة. وكان هذا هو رأي معظم العلماء: آينشتاين نفسه

كتب ورقة بحث زعم فيها أن النجوم لا تنكمش إلى حجم الصفر. أما تشاندراسيخار، فإن ما كان من عداء العلماء الآخرين له، وخاصة إدنجتون أستاذه السابق والمرجع الثقة في بنية النجوم، قد حثَّه على أن يهجر هذا الخط من البحث وأن يلتفت بدلًا من ذلك إلى مشاكل أخرى في علم الفلك، مثل حركة مجاميع النجوم. على أنه عندما مُنح جائزة نوبل في عام 1983 كان ذلك، على الأقل جزئيًا، بسبب بحثه المبكر عن حد الكتلة للنجوم الباردة.

تشاندراسيخار قد بيَّن أن مبدأ الاستبعاد لا يمكن أن يوقف تقلص نجم كتلته أكبر من حد تشاندراسيخار، ولكن مشكلة فهم ما سيحدث لهذا النجم، حسب النسبية العامة، تم حلها لأول مرة بواسطة الأمريكي الشاب روبرت أوبنهايمر في عام 1939. على أن نتيجة بحثه قد طرحت أنه لن تكون ثمَّة نتائج من مشاهدات يمكن الكشف عنها بواسطة تليسكوبات ذلك العهد. ثم تدخل تأثير الحرب العالمية الثانية وأصبح أوبنهايمر نفسه مشتركًا اشتراكًا وثيقًا في مشروع القنبلة الذرية. أما بعد الحرب فقد تم نسيان مشكلة التقلص بالجاذبية على نحو واسع حيث إن معظم العلماء أصبحوا مشغولين بما يحدث على نطاق الذرّة ونواتها. على أنه في ستينات هذا القرن، عاد إحياء الاهتمام بالمشاكل التي على المقياس الكبير في علم الفلك والكونيات؛ وذلك بسبب تزايد هائل في عدد ومدى المشاهدات الفلكية، الأمر الذي تأتَّى باستخدام التكنولوجيا الحديثة. وهكذا أعيد اكتشاف بحث أوبنهايمر كما وسَّعه العديد من الأفراد.

الصورة التي لدينا الآن عن بحث أوبنهايمر هي كالتالي: يغيِّر مجال جاذبية النجم مسارات أشعة الضوء في المكان - الزمان عمَّا كانت ستكون عليه لو لم يكن النجم موجودًا. ومخروطات الضوء التي تدل على المسارات التي ستتبعها في المكان والزمان



شكل (6-1)

ومضات الضوء المنبعثة من أطرافها، تتقوّس قليلًا إلى الداخل بالقرب من سطح النجم. ويمكن رؤية ذلك في انحناء الضوء الآتي من النجوم البعيدة التي تُرصد أثناء كسوف الشمس. وإذ ينكمش النجم، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح أقوى فتنحني مخروطات الضوء أكثر إلى الداخل. وهذا يزيد من صعوبة هروب الضوء من النجم، ويبدو الضوء أكثر إعتامًا واحمرارًا للراصد البعيد. وفي النهاية، عندما ينكمش النجم إلى نصف قطر حرج معيَّن، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح من القوة بحيث تنحني مخروطات الضوء للداخل كثيرًا، حتى إن الضوء لا يستطيع فرارًا بعدها شكل (6-1). وحسب نظرية النسبية، فما من شيء يمكن أن يتحرَّك بأسرع من الضوء. وهكذا فإذا كان الضوء لا يستطيع فرارًا، فما من شيء آخر يمكنه ذلك؛ ويُجر كل شيء إلى الوراء بواسطة مجال الجاذبية. وهكذا تصبح لدينا مجموعة من الأحداث، منطقة من المكان - الزمان، لا يمكن الفرار منها للوصول إلى راصد بعيد. وهذه المنطقة هي ما نسميه الآن ثقبًا أسود. وحَدُّها يسمَّى أفق الحدث «event horizon» وهو يتطابق مع مسارات أشعة الضوء التي فشلت للتو في الفرار من الثقب الأسود.

وحتى تفهم ما سوف تراه لو كنت ترقب نجمًا يتقلَّص ليكوِّن ثقبًا أسود، فإن عليك أن تتذكَّر أنه في النظرية النسبية ما من زمان مطلق. وكل راصد لديه قياسه الخاص للزمان. والزمن عند

شخص ما فوق أحد النجوم يكون مختلفًا عن الزمن عند شخص آخر على مبعدة، وذلك بسبب مجال جاذبية النجم. فلنفترض أن رائد فضاء جسورًا على سطح نجم ينهار متقلصًا وهو يتقلص معه للداخل. ويرسل إشارة كل ثانية، حسب ساعته، إلى سفينته الفضائية التي تدور حول النجم. وعند وقت ما حسب ساعته، وليكن مثلًا الساعة 11:00، سينكمش النجم إلى ما هو أقل من نصف القطر الحرج الذي يصبح عنده مجال الجاذبية من القوة بحيث لا يستطيع أي شيء فرارًا، وهكذا فإن إشاراته لن تصل إلى سفينة الفضاء. وإذ تقترب الساعة 11:00، فإن زملاءه الذين يرقبونه من سفينة الفضاء سيجدون أن الفواصل التي بين الإشارات المتتالية الآتية من رائد الفضاء تصبح أطول وأطول، ولكن هذا التأثير يكون صغيرًا جدًا قبل الساعة 10:59:59. وسيكون عليهم الانتظار لما يزيد فقط على الثانية زيادة جد هيّنة بين إشارة الفلكي عن 10:59:58 والإشارة التي أرسلها عندما كانت ساعته تقرأ 10:59:59، إلا أنهم سيكون عليهم أن ينتظروا إلى الأبد لإشارة الساعة 11:00. فإشارات الضوء المنبثقة من سطح النجم بين 10:59:59 و 11:00 حسب ساعة رائد الفضاء، سوف تنتشر على فترة زمان لا متناهية، كما يُرى من سفينة الفضاء. والفاصل الزمني بين وصول الموجات المتتابعة إلى سفينة الفضاء سيصبح أطول وأطول، وهكذا يبدو الضوء الصادر من النجم أكثر وأكثر احمرارًا وشحوبًا. وفي النهاية يصبح النجم معتمًا بدرجة أنه لا يمكن بعد رؤيته من سفينة الفضاء: وكل ما سيخلفه هو ثقب أسود في

الفضاء. على أن النجم سيواصل ممارسة قوة جاذيته نفسها على سفينة الفضاء، التي ستواصل الدوران حول الثقب الأسود.

على أن هذا السيناريو ليس واقعيًا بالكامل، وذلك بسبب المشكلة التالية. إن الجاذبية تزداد ضَعْفًا كلما ابتعدت عن النجم، وهكذا فإن قوة الجاذبية عند قدمَيْ رائد الفضاء الجسور ستكون دائمًا أعظم مما عند رأسه. وفارق القوى هذا سيمط رائد الفضاء ليصبح مثل الاسباجتي أو يمزِّقه بددًا قبل أن ينكمش النجم إلى نصف قطره الحرج الذي يتشكَّل عنده أفق الحدث! على أننا نعتقد أن هناك في الكون أشياء أكبر كثيرًا، مثل المناطق المركزية في المجرات، هي أيضًا يمكن أن تخضع للتقلص بالجاذبية لتنتج ثقوبًا سوداء؛ وإذا كان ثمَّة رائد فضاء فوق واحد منها فإنه لن يتمزق بددا قبل أن يتكوّن الثقب الأسود. فهو في الحقيقة لن يحس بأي شيء خاص عند الوصول إلى نصف القطر الحرج، ويمكنه أن يتجاوز نقطة اللاعودة من دون أن يلحظها. على أنه في خلال ساعات معدودة فحسب، إذ تستمر المنطقة في التقلص، سيصبح الفارق بين قوى الجاذبية عند رأسه وقدميه من القوة بحيث إنه سيمزِّقة بددًا مرة أخرى.

بيَّن البحث الذي قمتُ به مع روجر بنروز بين عامي 1965 و1970، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن يكون من داخل الثقب الأسود متفرِّدة من اللاتناهي في الكثافة وانحناء المكان – الزمان. ويكاد هذا يشبه الانفجار الكبير عند بدء الزمان، إلا أنه سيكون

نهاية الزمان للجسيم المتقلِّص ورائد الفضاء. وعند هذه المتفرِّدة تنهار قوانين العلم وقدرتنا على التنبؤ بالمستقبل. على أن أي ملاحظ يبقى خارج الثقب الأسود لن يتأثَّر بهذا العجز في القدرة على التنبؤ، لأن الضوء لن يصل إليه من المتفرِّدة، ولا أي إشارة أخرى كذلك. وهذه الحقيقة البارزة قد أدَّت بروجر بنروز إلى أن يطرح فرضية الرقابة الكونية، الذي يمكن إعادة صياغته بأن «المتفرِّدة العارية هي أمر ممقوت عند الرب». وبكلمات أخرى فإن المتفرِّدات التي ينتجها التقلص بالجاذبية تحدث فقط في الأماكن مثل الثقوب السوداء، حيث يتم إخفاؤها بصورة مهذبة عن الرؤية من الخارج وذلك بواسطة أفق الحدث. وعلى وجه الدقة، فإن هذا هو ما يُعرف بفرض الرقابة الكونية الضعيف: وهو يحمي الملاحظين الذين يبقون خارج الثقب الأسود من نتائج انهيار القدرة على التنبؤ الذي يحدث عند المتفرِّدة، ولكنه لا يفعل شيئًا على الإطلاق بالنسبة لرائد الفضاء التعس البائس الذي يهوي داخل الثقب.

هناك بعض الحلول لمعادلات النسبية العامة يحتمل فيها لرائد الفضاء أن يرى متفرِّدة عارية: فهو قد يتمكن من تجنب الوقوع في المتفرِّدة ويسقط بدلًا من ذلك في «ثقب دوديّ» worm hole ليخرج إلى منطقة أخرى من الكون. وسيقدم هذا إمكانات هائلة للسفر في الفضاء والزمان، ولكن، ولسوء الحظ، يبدو أن هذه الحلول تكون كلها غير مستقرة إلى درجة كبيرة؛ وأقل اضطراب

يحدث، من مثل وجود أحد رواد الفضاء، قد يغيِّر فيها بحيث لا يستطيع رائد الفضاء أن يرى المتفرِّدة حتى يصطدم بها، ويصل زمانه إلى نهايته. وبكلمات أخرى، فإن المتفرِّدة ستقع دائمًا في مستقبله ولا تقع قط في ماضيه. النسخة القوية لفرض الرقابة الكونية تقرِّر أنه في الحل الواقعي ستقع المتفرِّدات دائمًا إما في المستقبل بالكلية (مثل متفرِّدات التقلص بالجاذبية) أو في الماضي بالكلية (مثل الانفجار الكبير). إني أؤمن تمامًا بالرقابة الكونية، إلى درجة أني راهنت كيب ثورن وجون بريسكل من كال تيك، على أن الفكرة ستظل قائمة إلى الأبد. ثم خسرت الرهان لسبب تقني، فقد تم تقديم أمثلة لحلول تتضمن متفرِّدة مرئية من مسافة بعيدة. لهذا كان عليَّ أن أدفع مالًا، طبقًا لشروط الرهان فكان عليَّ أن أبتاع لهما ملابس. مع ذلك، يمكنني ادعاء النصر الأخلاقي. لقد كانت المتفرِّدات العارية غير مستقرة؛ وسيكون أقل اضطراب سببًا لاختفائها أو لاختبائها خلف أفق حدث ما. وعلى هذا فلن يظهر أي منها في مواقف واقعية.

أفق الحدث، حدّ منطقة المكان - الزمان الذي لا يمكن الفرار منه، يعمل بما يشبه غشاءً حول الثقب الأسود يكون المرور منه في اتجاه واحد: فالأشياء، مثل رواد الفضاء المتهوّرين، يمكن أن تسقط من خلال أفق الحدث في داخل الثقب الأسود، ولكن شيئًا لن يتمكَّن قط من الخروج من الثقب الأسود من خلال أفق الحدث. (تذكَّر أن أفق الحدث هو مسار في المكان - الزمان

للضوء الذي يحاول الهرب من الثقب الأسود، ولا شيء يمكن أن ينتقل أسرع من الضوء). ويمكن للمرء أن يقول عن أفق الحدث مثل ما قاله دانتى عند مدخل الجحيم: «أيها الداخلون، اطرحوا عنكم كل أمل». وأي شيء أو فرد يهوي من خلال أفق الحدث سيصل سريعًا إلى منطقة الكثافة اللامتناهية ونهاية الزمان.

تتنبأ النسبية العامة بأن الأشياء الثقيلة التي تتحرَّك تسبِّب انبعاث موجات جاذبية، تموجات في منحنى المكان تنتقل بسرعة الضوء. وهي تماثل موجات الضوء التي هي تموجات في المجال الكهرومغناطيسي، ولكن يصعب كثيرًا الكشف عنها. وهي كالضوء تحمل الطاقة بعيدًا عن الأشياء التي تبعثها. وإذن، فإن المرء يتوقَّع أن نسقًا معينًا من أشياء ضخمة سوف يستقر به الأمر في النهاية إلى حالة ثابتة، لأن الطاقة التي في أي حركة سيتم حملها بعيدًا بانبعاث موجات الجاذبية. (والأمر يشبه إسقاط قطعة فلين في الماء: فهي في أول الأمر تهتز لأعلى وأسفل بقدر كبير، ولكن إذ تحمل التموجات طاقتها بعيدًا، فإنها في النهاية تستقر في حالة ثابتة). وكمثال، فإن حركة الأرض في مدارها حول الشمس تُنتج أمواجًا جاذبية. وتأثير فقدان الطاقة هو أن يتغيَّر مدار الأرض بحيث أنها تدريجيًا تزيد قربًا من الشمس، وتصطدم بها في النهاية، وتستقر في حالة ثابتة. ومعدل فقدان الطاقة في حالة الأرض والشمس هو معدَّل منخفض جدًا - يقارب ما يكفي لتشغيل سخّان كهربي صغير. ويعني هذا أن الأرض ستستغرق ما

يقرب من ألف مليون مليون مليون مليون سنة لتتحرك متجهة نحو داخل الشمس، وهكذا فليس من سبب مباشر للانزعاج! وتغير مدار الأرض هو أبطأ من أن يُلحظ، على أنه قد لوحظ في السنوات المعدودة الماضية أن هذا التأثير نفسه يحدث في نسق يسمَّى PSR 1914+16 (ترمز PSR إلى Pulsar «النابض» وهو نوع خاص من نجم النيوترون يبث نبضات منتظمة من موجات الراديو). ويحوي هذا النسق نجمَيْ نيوترون يدور كل منهما حول الآخر، والطاقة التي يفقدانها ببث موجات الجاذبية تجعلهما يتحرَّكان لولبيًا إلى الداخل أحدهما في اتجاه الآخر. هذا التأكيد لإثبات النسبية العامة أدى إلى أن يفوز ج. هـ. تايلور و ر. أ. هويمز بجائزة نوبل في عام 1993. سوف يستغرق الأمر ما يقرب من ثلاثمائة مليون سنة حتى يصطدما معًا. قبل أن يفعلا ذلك مباشرة سيصل دورانهما إلى سرعة بالغة حتى إنهما سيبثَّان موجات جَذْبَوية كافية لأن تلتقطها أجهزة الكشف مثل جهاز «ليجو».

أثناء تقلُّص أحد النجوم بالجاذبية ليكوِّن ثقبًا أسود، ستكون الحركات أسرع كثيرًا، وهكذا فإن معدَّل حمل الطاقة بعيدًا سيكون أعلى كثيرًا. وهكذا لن يمضي زمن جد طويل قبل أن يستقر في حالة ساكنة. كيف ستبدو هذه المرحلة النهائية؟ للمرء أن يفترض أنها سوف تعتمد على كل قسمات النجم المركبة التي يتكوَّن منها، ليس فحسب كتلته ومعدل دورانه، وإنما أيضًا الكثافات المختلفة لأجزاء النجم المختلفة، والحركات المعقَّدة

للغازات من داخل النجم. ولو كانت الثقوب السوداء تتباين مثل الأشياء التي تقلَّصت لتكوِّنها، فإنه قد يكون من الصعب جدًا إقامة أي تنبؤات عن الثقوب السوداء عامة.

على أنه في عام 1967، ثُوِّرت دراسة الثقوب السوداء على يد ويرنر إسرائيل، وهو عالم كندي (وُلد في برلين ونشأ في جنوب أفريقيا، ونال درجة الدكتوراه في أيرلندا). بيَّن إسرائيل، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن تكون الثقوب السوداء غير الدوَّارة بسيطة جدًا؛ فهي كروية على نحو كامل، وحجمها يعتمد فقط على كتلتها، وأي ثقبين أسودَيْن هكذا ولهما الكتلة نفسها يكونان متطابقين. والحقيقة أنهما يمكن توصيفهما حسب حل معيَّن لمعادلات آينشتاين مما كان معروفًا منذ عام 1917، ووجده كارل شوارتز تشيلد بعد اكتشاف النسبية العامة بزمن قصير. وفي أول الأمر حاجج أناس كثيرون، بمن فيهم إسرائيل نفسه، بأنه حيث إن الثقوب السوداء يلزم أن تكون كروية على نحو كامل، فإن الثقب الأسود لا يمكن أن يتكوَّن إلا من تقلص شيء كروي على نحو كامل. وإذن فإن أي نجم حقيقي - الذي لا يمكن أن يكون قط كرويًا على نحو « كامل» - لا يستطيع أن يتقلَّص إلا ليشكِّل **متفرِّدة عارية** (Naked singularity).

على أن ثمَّة تفسيرًا مختلفًا لنتيجة إسرائيل، قد اتخذه بالذات روجر بنروز وجون هويلر. فقد حاججا بأن الحركات السريعة التي تشارك في تقلص النجم تعني أن موجات الجاذبية التي

أطلقها سوف تجعله دائمًا أكثر كروية، وعند الوقت الذي سوف يستقر فيه إلى حالة ثابتة، فإنه سيكون كرويًا بالضبط. وحسب هذه النظرية فإن أي نجم غير دوَّار، مهما كان تعقُّد شكُّله وبنيته الداخلية، سينتهي بعد التقلص بالجاذبية إلى ثقب أسود كامل الكروية، ولا يعتمد حجمه إلا على كتلته. وقد دعمت حسابات أخرى هذه النظرة وسرعان ما تم اتخاذها بصورة عامة.

نتيجة إسرائيل تتناول حالة الثقوب السوداء التي تتكوَّن فقط من أجسام غير دوَّارة. وفي عام 1963 وجد روي كير النيوزيلندي مجموعة حلول للمعادلات النسبية العامة تصف الثقوب السوداء الدوَّارة. ثقوب «كير» السوداء هذه تدور بمعدل ثابت، وحجمها وشكلها يعتمدان فقط على كتلتها ومعدل دورانها. فإذا كان الدوران صفرًا، يكون الثقب الأسود كامل الاستدارة، ويكون الحل مطابقًا لحل شوارتز تشيلد. وإذا كان الدوران لا يساوي صفرًا، فإن الثقب الأسود ينبعج للخارج قرب خط استوائه (تمامًا مثلما تنبعج الأرض أو الشمس بسبب دورانهما)، وكلما زادت سرعة دورانه، زاد انبعاجه. وهكذا، فحتى تُوسَّع نتيجة إسرائيل لتشمل الأجسام الدوَّارة، حدس أن أي جسم دوّار يتقلَّص ليكوِّن ثقبًا أسود يستقر في النهاية إلى حالة ثابتة مما وصفه حل كير.

في عام 1970 قام زميل وطالب بحث عندي في كمبردج، وهو براندون كارتر، باتخاذ أول خطوة نحو إثبات هذا الحدس. وقد بيَّن أنه، مع شرط أن يكون الثقب الأسود الدوَّار المستقر له

محور تناظر، مثل قمَّة تدور، فإن شكله وحجمه سيعتمدان فقط على كتلته ومعدَّل دورانه. ثم أثبتُّ أنا في عام 1971 أن أي ثقب أسود دوَّار مستقر سيكون له حقًا محور التناظر هذا. وأخيرًا فإن دافيد روبنسون في كلية الملك في لندن استخدم في عام 1973 نتائج كارتر ونتائجي ليبيّن أن الحدس كان صحيحًا: إن ثقبًا أسود هكذا يلزم حقًا أن يكون حسب حل كير. وهكذا فإنه بعد التقلص بالجاذبية يجب أن يستقر الثقب الأسود في حالة يمكن له فيها أن يدور ولكنه لا ينبض. وفوق ذلك، فإن حجمه وشكله سيعتمدان فقط على كتلته ومعدَّل دورانه، وليس على طبيعة الجسم الذي تقلَّص ليكوِّنه. وقد أصبحت هذه النتيجة معروفة بقاعدة: «الثقب الأسود ليس له شَعْر». ومبرهنة «اللاشعر» لها أهمية تطبيقية عظيمة، لأنها تحدِّد تحديدًا كبيرًا الأنواع الممكنة من الثقوب السوداء. يستطيع المرء إذن أن يصنع نماذج مفصَّلة للأشياء التي قد تحوي ثقوبًا سوداء ويقارن التنبؤات من النماذج بالمشاهدات. ويعني هذا أيضًا أن قدرًا كبيرًا جدًا من المعلومات عن الجسم الذي تقلَّص يضيع - بالتأكيد - عندما يتكوَّن الثقب الأسود، لأن كل ما يحتمل أنه سيمكننا قياسه بعدها بشأن الجسم سيكون كلًا من كتلته ومعدل دورانه. ومغزى هذا سيمكننا رؤيته في الفصل التالي.

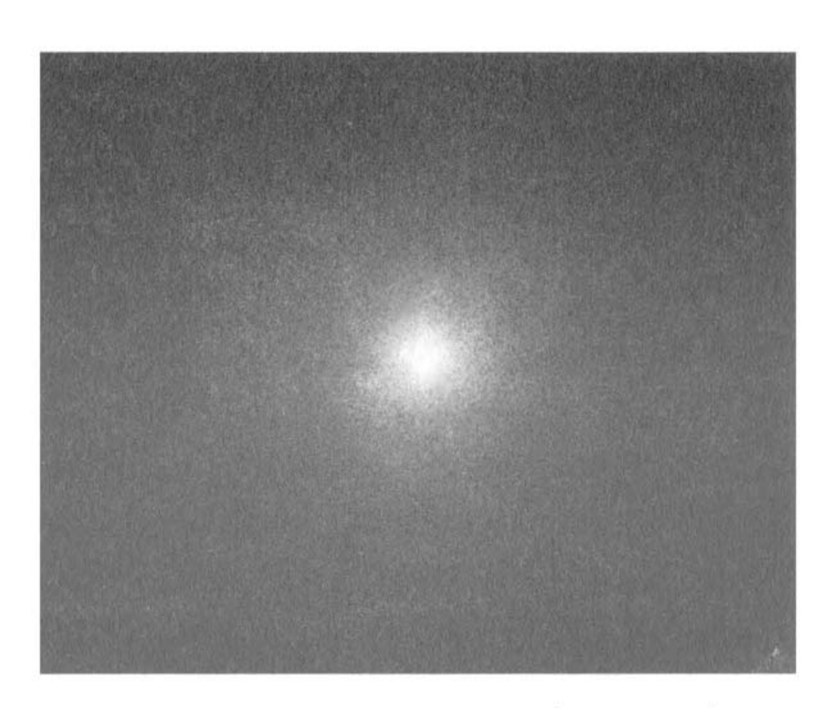
الثقوب السوداء هي واحدة من عدد صغير نوعًا من الحالات في تاريخ العلم حيث تنشأ إحدى النظريات بتفصيل عظيم كنموذج رياضي قبل أن يكون هناك أي برهان من المشاهدات

على صحتها. والحقيقة أن هذه كانت الحجة الرئيسية المعتادة لمعارضي الثقوب السوداء: كيف يمكن للمرء أن يؤمن بأشياءَ البرهان الوحيد عليها هو حسابات تتأسَّس على نظرية النسبية العامة المشكوك في أمرها؟ على أنه في عام 1963، قام مارتن شميدت، الفلكي في مرصد بالومار في كاليفورنيا، بقياس الإزاحة الحمراء لشيء شاحب يشبه النجم في اتجاه مصدر موجات الراديو المسمَّى 3c273 (أي المصدر رقم 273 في كتالوج كمبردج الثالث عن مصادر الراديو). وقد وجد أنه أكبر جدًا من أن يتسبَّب عن مجال للجاذبية: ولو كانت هذه إزاحة حمراء بالجاذبية، لكان ينبغي أن يكون الشيء ضخمًا جدًا وقريبًا منَّا جدًا بحيث إنه كان سيثير الاضطراب في مدارات كواكب النظام الشمسي. وهذا يدل على أن هذه الإزاحة الحمراء قد نجمت بدلًا من ذلك عن تمدد الكون، الأمر الذي يعني بدوره أن ذلك الشيء بعيد بمسافة طويلة جدًا. وحتى يكون الشيء مرئيًا على مسافة عظيمة هكذا، فإنه يجب أن يكون لامعًا جدًا، وبكلمات أخرى فإنه يجب أن يبث قدرًا هائلًا من الطاقة. الآلية الوحيدة التي يمكن للناس أن يتصوَّروا أنها تنتج هذه الكميات الكبيرة من الطاقة هي في ما يبدو التقلص بالجاذبية لا لنجم فحسب، بل لمنطقة مركزية بكاملها في إحدى المجرَّات. وقد تم اكتشاف عدد آخر مما يماثل ذلك من «الأشياء شبه النجمية» أو الكوازارات quasars، وكلها لها إزاحة حمراء كبيرة. ولكنها جميعًا بعيدة جدًا، وبالتالي يصعب جدًا رصدها حتى تمدنا بالبرهان القاطع على الثقوب السوداء.

في عام 1967 أتى تشجيع جديد لوجود الثقوب السوداء مع اكتشاف طالبة بحث في كمبردج، هي جوسلين بل، لأشياء في السماء تبث نبضات منتظمة من موجات الراديو. وقد ظنَّت في أول الأمر، هي وأنتوني هيوش الذي كان يشرف عليها، أنهما ربما قد وصلا إلى الاتصال بمدنيَّة غريبة في المجرة! والحقيقة أني أذكر أنهما في الندوة التي أعلنا فيها اكتشافهما قد سمَّيا المصادر الأربعة الأولى التي وجداها LGM 1-4، وLGM هي اختصار لجملة «الرجال الخضر الصغار Little Green men». على أنهما في نهاية الأمر، وصلا، مع كل مَن بحث الأمر، إلى استنتاج أقل رومانسية بشأن هذه الأشياء، التي أعطيت اسم «النابضات»، وهي في الحقيقة نجوم نيوترون دوَّارة تبث نبضات من موجات الراديو بسبب تفاعل معقَّد بين مجالاتها الكهرومغناطيسية والمادة المحيطة. وكان في هذا أنباء سيئة لمؤلفي مغامرات الفضاء، ولكن فيه ما يثير أكبر الأمل للعدد الصغير الذي كان يؤمن بالثقوب السوداء آنذاك: فقد كان هذا أول برهان إيجابي على وجود نجوم النيوترون. ونجم النيوترون له نصف قطر يقدر بنحو عشرة أميال، وهو لا يبلغ إلا القليل من مضاعفات نصف القطر الحرج الذي يصبح النجم عنده ثقبًا أسود. وإذا أمكن لنجم أن يتقلَّص إلى مثل هذا الحجم الصغير. فليس من غير المعقول أن نتوقَّع أن نجومًا أخرى يمكنها أن تتقلَّص إلى حجم أصغر وتصبح ثقوبًا سوداء.

كيف يمكننا أن نأمل أنه من الممكن اكتشاف ثقب أسود،

حيث إنه حسب تعريفه ذاته لا يبث أي ضوء؟ قد يبدو الأمر نوعًا من البحث عن قطة سوداء في قبو للفحم. ولحسن الحظ فإن ثمَّة طريقة لذلك. فكما بيَّن جون ميتشيل في ورقة بحثه الرائدة في عام 1783، يظل الثقب الأسود يمارس قوة الجاذبية على الأشياء القريبة منه. رصد الفلكيون أنسقة كثيرة يدور فيها نجمان أحدهما حول الآخر، حيث يتجاذبان أحدهما للآخر بواسطة الجاذبية. وهم قد رصدوا أيضًا أنسقة لا يكون فيها إلا نجم واحد مرئي يدور حول رفيق له غير مرئي. لا يستطيع المرء بالطبع أن يستنتج مباشرة أن هذا الرفيق هو ثقب أسود: فقد يكون مجرَّد نجم أشحب من أن يُرى. على أن بعض هذه الأنسقة مثل ذلك الذي يسمَّى Cygnus X-1 شكل (6-2) هي أيضًا مصادر قوية لأشعة إكس. وأحسن تفسير لهذه الظاهرة هو أن المادة قد نُفخت من على سطح النجم المرئي. وهي إذ تسقط في اتجاه الرفيق غير المرئي، تنشأ حركة لولبية (تكاد تشبه حركة ماء يخرج من ثقب حوض الاستحمام)، وتصبح ساخنة للغاية، وتبث أشعة إكس شكل (6-3). حتى تعمل هذه الآلية، يجب أن يكون الشيء غير المرئي صغيرًا جدًا مثل قزم أبيض، أو نجم نيوترون، أو ثقب أسود. ويمكن للمرء من المدار المرصود للنجم المرئي، أن يحدِّد أقل كتلة ممكنة للشيء غير المرئي. في حالة Cygnus X-1 وُجد أن هذه تبلغ ما يقارب ستة أمثال كتلة الشمس، وهذا حسب نتيجة تشاندراسيخار أضخم كثيرًا من أن يكون الشيء غير المرئي قزمًا أبيض. وهي أيضًا كتلة أكبر كثيرًا من أن تكون نجم نيوترون. ويبدو إذن، كثقبٍ أسود.



شكل (6-2): النجم الأسطع من النجمين القريبين من منتصف الصورة Cygnus x-1 الذي يُعتقد أنه يتكون من ثقب أسود ونجم طبيعى، يدور كل منهما حول الآخر.

ثمَّة نماذج أخرى لتفسير Cygnus X-1 لا تتضمَّن الثقب الأسود، ولكنها كلها بعيدة الاحتمال نوعًا. يبدو أن الثقب الأسود هو التفسير الطبيعي الحقيقي الوحيد للمشاهدات. ورغم هذا، قام رهان بيني وبين كيب ثورن، الذي يعمل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيات، على أن Cygnus X-1 في الحقيقة لا يحوي ثقبًا أسود! وهذا نوع من بوليصة تأمين لصالحي. فقد قمت بالكثير من البحث على الثقوب السوداء، وسيضيع البحث كله هباء لو

ثبت في النهاية أنه لا توجد ثقوب سوداء. ولكني في هذه الحالة سيعزيني أني سأكسب رهانًا يجلب لي مجلة «المحقق الخاص» Private eye لمدة أربعة أعـوام. وإذا كانت الثقوب السوداء موجودة بالفعل، فسوف ينالُ كيب مجلة «بنتهاوس» Penthouse لمدة عام. وعندما تراهنا في عام 1975، كنا متأكدين بنسبة 80 في المائة من أن Cygnus X-1 هو ثقب أسود. في وقتنا هذا، يمكنني القول بأننا متأكدان بما يقرب من 95 في المائة، على أن الرهان لم يُحسم بعد.

في الحقيقة مع أن الموقف بالنسبة لـ Cygnus X-1 لم يتغيَّر كثيرًا منذ راهنا عليه في عام 1975، إلا أنه توجد الآن أدلة لمشاهدات أخرى في صف الثقوب السوداء يبلغ من كثرتها أني تنازلت عن الرهان. هكذا فقد دفعت الجزاء المحدَّد، وهو اشتراك لمدة سنة واحدة في مجلة «بنتهاوس» الأمر الذي أثار غضب زوجة «كيب» المتحرِّرة.

لدينا الآن أيضًا برهان على ثقوب سوداء أخرى عديدة في أنساق مثل Cygnus X-1 في مجرتنا وفي مجرتَيْن متجاورتين تسمَّيان، «السحب الماجلانية». على أنه يكاد يكون مؤكدًا أن عدد الثقوب السوداء هو أكبر كثيرًا جدًا من ذلك؛ ففي تاريخ الكون الطويل، يجب أن تكون نجوم كثيرة قد أحرقت كل وقودها النووي وأصبح عليها أن تتقلص. وقد يكون عدد الثقوب السوداء أعظم كثيرًا من عدد النجوم المرئية، الذي يصل إلى ما يقرب من مائة ألف مليون في

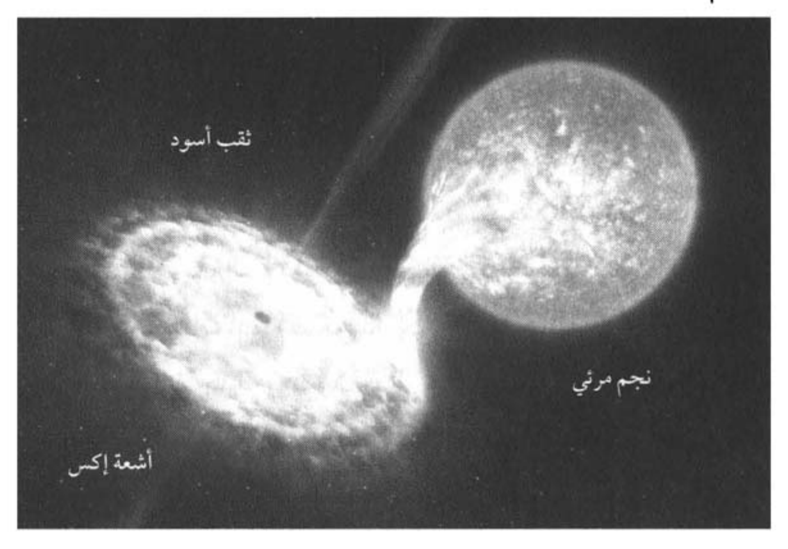
مجرتنا وحدها. وشد الجاذبية الإضافي لمثل هذا العدد الكبير من الثقوب السوداء يمكن أن يفسِّر السبب في أن مجرتنا تدور بالمعدل الذي تدور به: فكتلة النجوم المرئية لا تكفي لتفسير ذلك. لدينا أيضًا بعض دليل على وجود ثقب أسود أكبر كثيرًا، له كتلة تقرب من مائة ألف ضعف كتلة الشمس، وذلك عند مركز مجرتنا. نجوم المجرة التي تقترب قربًا شديدًا من هذا الثقب الأسود ستتمزَّق بددًا بسبب فارق قوى الجاذبية على جانبيها القريب والبعيد. وبقاياها، هي والغاز الذي يُلقى به بعيدًا من النجوم الأخرى، ستهوي باتجاه الثقب الأسود. وكما في حالة Cygnus X-1، فإن الغاز سيدور لولبيًا في الداخل وتزداد سخونته، وإن لم يكن ذلك كثيرًا بمثل ما في تلك الحالة. فهو لن يسخن بما يكفي لبثّ أشعة إكس ولكنه يمكن أن يفسِّر ذلك المصدر، بالغ الاندماج، لموجات الراديو والأشعة تحت الحمراء الذي يُرصد عند مركز المجرة.

من المعتقد أن ثقوبًا سوداء مماثلة، وإن كانت أكبر وتصل كتلتها إلى ما يقرب من مائة مليون ضعف لكتلة الشمس، هي مما يحدث عند مراكز الكوازارات. والمادة التي تقع في داخل ثقب أسود فائق الضخامة هكذا، تمد بالمصدر الوحيد للقوة التي تبلغ من الكبر ما يكفي لتفسير الكميات الهائلة من الطاقة التي تبثها هذه الأشياء. وإذ تدور المادة لولبيًا في داخل الثقب الأسود، فإنها تجعل الثقب يدور في الاتجاه نفسه، ما يجعله ينشئ مجالًا مغناطيسيًا يشبه نوعًا مجال الأرض. تتولَّد جسيمات طاقة عالية

جدًا قرب الثقب الأسود بواسطة المادة التي تهوي في الداخل. ويكون المجال المغناطيسي من القوة بحيث يمكنه تركيز هذه الجسيمات في نافورات تُنفث للخارج على طول محور دورات الثقب الأسود، أي في اتجاهَيْ قطبَيْه الشمالي والجنوبي. وقد رصدت نفثات كهذه حقًا في عدد من المجرات والكوازارات.

يمكن للمرء أن ينظر أيضًا في إمكانية أنه قد توجد ثقوب سوداء كتلتها تقلّ كثيرًا عن كتلة الشمس. ومثل هذه الثقوب السوداء لا يمكن أن تتكوَّن بالتقلص بالجاذبية، لأن كتلتها أقل من حد كتلة تشاندراسيخار، والنجوم التي بهذه الكتلة الصغيرة يمكن لها أن تبقي على نفسها ضد قوة الجاذبية حتى عندما تستنفد وقودها النووي. الثقوب السوداء ذات الكتلة الصغيرة لا يمكن أن تتكوَّن إلا إذا كانت المادة مضغوطة إلى كثافة هائلة بواسطة ضغوط خارجية كبيرة جدًا. وظروف مثل هذه يمكن أن تحدث في قنبلة هيدروجينية كبيرة جدًا: وقد حسب الفيزيائي جون هويلر ذات مرة أنه لو أخذ المرء كل الماء الثقيل في كل محيطات العالم، فإنه يستطيع أن يبني قنبلة هيدروجينية تضغط المادة عند المنتصف ضغطًا شديدًا، بحيث يتخلَّق ثقب أسود. (بالطبع لن يكون هناك أحد قد بقيَ لرصده!) وثمَّة إمكانية عملية أكثر، وهي أن هذه النجوم السوداء ذات الكتلة الصغيرة ربما تكوَّنت في الحرارات والضغوط العالية للكون المبكِّر جدًا. وما كانت الثقوب السوداء لتتكوَّن إلا إذا كان الكون المبكِّر ليس مستويًا ولا متسقًا إلى حدٍّ

الكمال، ذلك أنه لا يمكن أن ينضغط على هذا النحو لتكوين ثقب أسود إلا منطقة صغيرة من الكون تكون لها كثافة أكبر من المتوسط. ولكننا نعلم أنه قد كان هناك ولا بد بعض أوجه من عدم الانتظام، والسبب أنه بغير ذلك فإن المادة في الكون ستكون موزَّعة باتساق كامل في العهد الحالي، بدلًا من أن تتكتَّل معًا في نجوم ومجرات.



شكل (6-3)

مسألة ما إذا كانت أوجه عدم الانتظام المطلوبة لتفسِّر النجوم والمجرَّات قد أدت إلى تكوين عدد له مغزاه من الثقوب السوداء «البدائية»، تعتمد بوضوح على تفاصيل الظروف في الكون المبكِّر. وهكذا فلو أمكننا أن نحدِّد عدد الثقوب السوداء

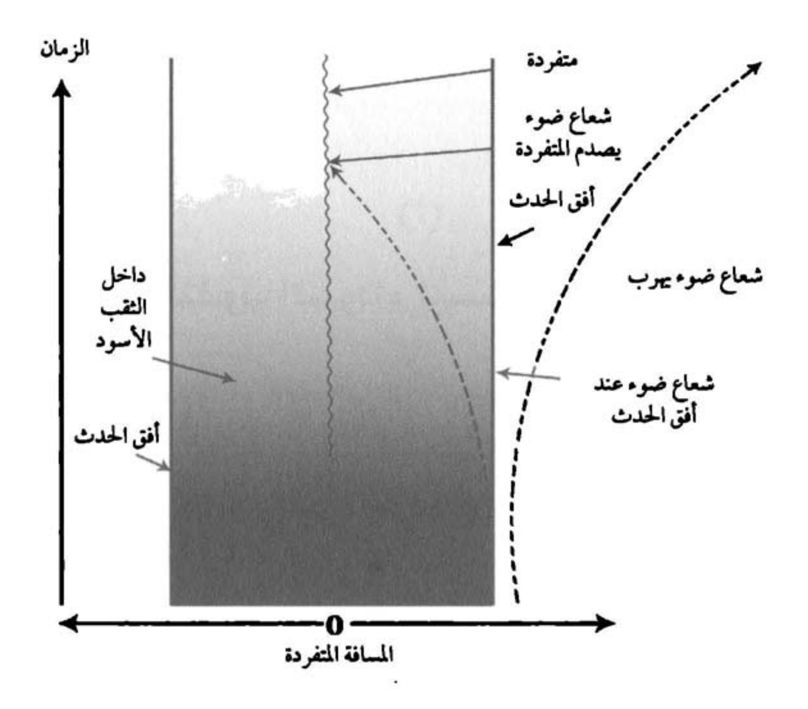
البدائية الموجودة الآن، فسوف نتمكَّن من تعلُّم الشيء الكثير عن المراحل المبكِّرة جدًا للكون. الثقوب السوداء البدائية التي تزيد كتلتها على ألف مليون طن (كتلة جبل كبير) لا يمكن الكشف عنها إلا بتأثير جاذبيتها على مادة أخرى مرئية أو على تمدُّد الكون. على أن الثقوب السوداء، كما سنعرف في الفصل التالي، هي رغم كل شيء ليست حقًا سوداء: فهي تتوهَّج كالجسم الساخن، وكلما صغر حجمها ازداد توهجها. وهكذا، وبالمفارقة، فقد يثبت فعلًا في النهاية أن الثقوب السوداء الأصغر يكون الكشف عنها أسهل من الثقوب السوداء الكبيرة!



(7)

الثقوب السوداء ليست جد سوداء

قبل عام 1970، كان بحثي في النسبية العامة يتركَّز أساسًا على مسألة ما إذا كان، أو لم يكن، ثمَّة متفرِّدة انفجار كبير. على أني في إحدى أمسيات نوفمبر من ذلك العام، بعد ميلاد ابنتي لوسي بزمن قصير، أخذت أفكر في شأن الثقوب السوداء وأنا أتهيَّأ للنوم. وعجزي يجعل من ذلك عملية بطيئة نوعًا، وهكذا تكون لديَّ فسحة من الوقت. وفي ذلك الحين لم يكن ثمَّة تعريف دقيق عن أي النقاط في المكان - الزمان تقع داخل الثقب الأسود وأيها تقع خارجه. وكنت من قبل قد ناقشت مع روجر بنروز فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التي لا يمكن الفرار منها إلى مسافة بعيدة، وهذا هو التعريف المقبول حاليًا بشكل عام. وهو يعني أن حدّ الثقب الأسود، أفق الحدث، يتكوَّن من مسارات أشعة الضوء في المكان - الزمان التي تخفق للتو في أن تهرب بعيدًا عن الثقب الأسود، محوِّمة إلى الأبد على الحرف بالضبط. شكل (7-1). والأمر يشبه إلى حدٍّ ما الهروب بعيدًا من الشرطة مع التمكن فحسب من المحافظة على الابتعاد عنهم بخطوة واحدة أمامهم ولكن من دون التمكن من التخلص منهم تمامًا!



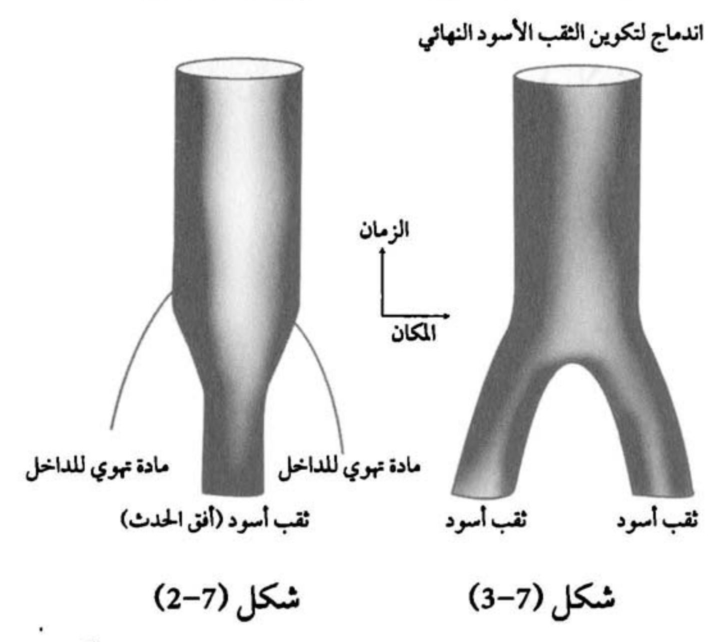
شكل (7-1)

وفجأة، تبيَّنتُ أن مسارات أشعة الضوء هذه لا يمكن قط أن يقترب أحدها من الآخر. ولو فعلت، فإنها في النهاية لا بد أن يصطدم أحدها بالآخر. وسيكون الأمر مثل ملاقاة شخص آخر يهرب بعيدًا عن الشرطة في الاتجاه المضاد، فسوف يتم إلقاء القبض عليكما معًا! (أو أنكما في هذه الحالة ستقعان في الثقب الأسود). ولكن لو أن أشعة الضوء هذه تم ابتلاعها بواسطة الثقب الأسود، فإنها حينها لن يمكنها أن توجد عند حد الثقب الأسود. وهكذا فإن مسارات أشعة الضوء في أفق الحدث يلزم أن تتحرَّك

دائمًا، وأحدها يتوازى مع الآخر أو يبتعد عن الآخر. والطريقة الأخرى لرؤية ذلك هي أن أفق الحدث، حد الثقب الأسود، هو مثل حرف أحد الظلال، ظل القدر الوشيك impending doom. ولو نظرت إلى الظل الذي يلقيه مصدر على مسافة هائلة مثل الشمس، فسوف ترى أن أشعة الضوء في الحرف لا يقترب أحدها من الآخر.

وإذا كانت أشعة الضوء التي تكون أفق الحدث، حد الثقب الأسود، لا تستطيع قط أن يقترب أحدها من الآخر، فإن مساحة أفق الحدث قد تبقى كما هي أو تزيد بمرور الزمن، ولكنها لا يمكن قط أن تقل، لأن هذا سيعني أن بعضًا على الأقل من أشعة الضوء التي عند الحد سيلزم أن يقترب أحدها من الآخر. والحقيقة أن المساحة ستزيد كلما سقطت مادة أو إشعاع في الثقب الأسود شكل (7–2) أو إذا اصطدم ثقبان أسودان واندمجا معًا ليكوِّنا ثقبًا أسود واحدًا، فستكون مساحة أفق الحدث للثقب الأسود النهائي أعظم من، أو مساوية لـ مجموع مساحتي أفقي الحدث للثقبَيْن الأسودَين الأصليَّيْن. شكل (7–3). فخاصية عدم نقصان مساحة أفق الحدث تضع قيدًا مهمًا على السلوك المحتمل للثقوب السوداء. وانفعلتُ بالغ الانفعال باكتشافي، حتى إني لم أنَم كثيرًا تلك الليلة. وفي اليوم التالي اتصلت بروجر بنروز. واتفق معي في الرأي. وأعتقد أنه في الحقيقة كان متنبهًا لخاصية المساحة هذه. على أنه كان يستخدم تعريفًا للثقب الأسود يختلف اختلافًا بسيطًا.

وهو لم يتبيَّن أن حدود الثقب الأسود ستكون حسب التعريفين هي نفسها، وبالتالي فإن مساحاتها ستكون كذلك، بشرط أن يكون الثقب الأسود قد استقر على حالة لا يتغيَّر فيها بالزمن.



شكل (7–2)　　شكل (7–3)

إن سلوك عدم نقصان مساحة الثقب الأسود فيه ما يذكِّر كثيرًا بسلوك كم فيزيائي يسمَّى الإنتروبيا Entropy التي تقيس درجة اضطراب أحد النُّظُم[1]. من أمور الخبرة المشتركة أن الاضطراب

(1) الإنتروبيا: أحد المفاهيم المهمة في الديناميكا الحرارية، والمقصود به قياس العشوائية داخل نظام ما، وأبسط مثال للمصطلح هو ملاحظة نقطة الحبر التي سقطت للتو في كوب من الماء، ستنتشر النقطة تدريجيا حتى تختلط تماما بالماء ولا يمكن التمييز بينهما، حينها يمكن القول إن إنتروبيا النظام المكون من نقطة الحبر والماء قد تزايدت.

ينزع إلى أن يتزايد عندما تترك الأشياء لذاتها. (وحتى يرى المرء ذلك فليس عليه إلا أن يتوقَّف عن القيام بإصلاح ما حوله بالمنزل!) ويمكن للمرء أن يخلق النظام من الاضطراب (فيمكن للمرء مثلًا أن يطلي جدران المنزل)، ولكن هذا يتطلَّب إنفاق جهد أو طاقة، ويقلل هكذا من قدر الطاقة المنظمة المتاحة.

الإفادة الدقيقة عن هذه الفكرة تُعرف بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية. وهو يقرِّر أن الإنتروبيا في نظام منعزل تتزايد دائمًا، وأنه عندما يتحد نظامان معًا، فإن إنتروبيا النظام المتحد تكون أكبر من حاصل جمع إنتروبيا النظامَيْن الفرديَّين. لننظر مثلًا نظام جزيئات غاز في صندوق. فيمكن تصور الجزيئات ككرات بلياردو صغيرة تصطدم باستمرار بعضها بالبعض الآخر، وترتد من جدران الصندوق. وكلما زادت حرارة الغاز، زادت سرعة تحرك الجزيئات، وبالتالي ازداد تواتر وشدة اصطدامها بجدران الصندوق وازداد الضغط التي تمارسه للخارج على الجدران. لنفترض أن الجزيئات في أول الأمر كانت كلها محصورة في الجانب الأيسر من الصندوق بواسطة حاجز. لو أزيل الحاجز بعد ذلك، فإن الجزيئات تنزع إلى الانتشار للخارج وتشغل نصفَيْ الصندوق. ويمكن لها في ما بعد أن تصبح كلها بالمصادفة في النصف الأيمن أو تعود ثانية إلى النصف الأيسر، ولكن الاحتمال الأكبر الغالب أنه ستكون هناك أعداد متساوية على وجه التقريب في النصفَين: وهذه الحالة هي أقل انتظامًا، أو أكثر اضطرابًا عن الحالة الأصلية التي كانت

الجزيئات فيها كلها في نصف واحد. ويقول المرء إذن إن إنتروبيا الغاز قد تزايدت. وبالمثل، لو فرضنا أن المرء يبدأ بصندوقَيْن، أحدهما يحوي جزيئات أوكسجين والآخـر يحوى جزيئات نيتروجين. فإذا ضم المرء الصندوقَيْن معًا وأزال الجدار الفاصل، فإن جزيئات الأوكسجين والنيتروجين تبدأ في الامتزاج. وفي وقت لاحق ستكون الحالة الأكثر احتمالًا هي وجود مزيج متّسق إلى حدٍّ ما من جزيئات الأوكسجين والنيتروجين خلال الصندوقين. وهذه الحالة ستكون أقل انتظامًا، وبالتالي فإن فيها إنتروبيا أكبر من الحالة الابتدائية للصندوقَين المنفصلَيْن.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية له وضع مختلف نوعا عن وضع قوانين العلم الأخرى، كقانون نيوتن للجاذبية مثلا، لأنه لا يصحّ دائمًا، وإنما يصح فحسب في الأغلبية العظمى من الحالات. واحتمال أن توجد كل جزيئات الغاز في صندوقنا الأول في نصف الصندوق في وقت لاحق هو احتمال واحد إلى ملايين الملايين الكثيرة، ولكنه قد يحدث. على أنه لو كان عند المرء ثقب أسود حوله، فإن هناك كما يبدو طريقة أسهل نوعا لانتهاك القانون الثاني: إرم فحسب أسفل الثقب بعض مادة بها الكثير من الإنتروبيا، مثل صندوق غاز. وسوف تقل الإنتروبيا الكلية للمادة في خارج الثقب الأسود. ويمكن للمرء بالطبع أن يقول رغم ذلك إن الإنتروبيا الكلية، بما في ذلك الإنتروبيا داخل الثقب الأسود، لم تقُل، ولكن حيث إنه ما من وسيلة للنظر في داخل الثقب الأسود، فإننا لا نستطيع

أن نرى قدر إنتروبيا المادة التي في داخله. وسيكون من الجيد إذن أن يكون هناك ملمح ما للثقب الأسود يستطيع به الملاحظون من خارجه معرفة ما له من إنتروبيا، ويكون مما سيزيد قدره كلما سقطت المادة الحاملة للإنتروبيا داخل الثقب الأسود. وعقب الاكتشاف الموصوف أعلاه، من أن مساحة أفق الحدث تزيد كلما سقطت المادة في الثقب الأسود، اقترح طالب بحث في برينستون يدعى جاكوب بكنشتين أن مساحة أفق الحدث هي مقياس لإنتروبيا الثقب الأسود. عندما تسقط في الثقب الأسود مادة حاملة للإنتروبيا، فإن مساحة أفق الحدث فيه تزيد، بحيث إن حاصل جمع إنتروبيا المادة في خارج الثقوب السوداء مع مساحة الآفاق لن يقل أبدًا.

وبدا أن هذا الاقتراح يمنع انتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية في معظم المواقف. على أنه كان ثمَّة خطأ قاتل. فلو كان للثقب الأسود إنتروبيا، فإنه يجب أيضًا أن تكون له حرارة. ولكن الجسم الذي له حرارة معينة يجب أن يبعث إشعاعًا بمعدَّلٍ معيَّن. ومن أمور الخبرة المشتركة أنه إذا سخَّن المرء قضيب محراك النار في النيران فإنه يتوهج محمرًّا ويبعث إشعاعًا، على أن الأجسام وهي عند درجات حرارة أدنى تبعث أيضًا إشعاعًا؛ والمرء لا يلاحظه عادة لأن قدره صغير نوعًا. وهذا الإشعاع مطلوب لمنع انتهاك القانون الثاني. وهكذا فإن الثقوب السوداء ينبغي أن تبعث إشعاعًا. ولكن الثقوب السوداء حسب تعريفها ذاته هي أشياء يُفترض ألا تبعث شيئًا. وهكذا بدا أن مساحة أفق الحدث للثقب

الأسود لن يمكن النظر إليها على أنها ما له من إنتروبيا. وفي عام 1972 كتبت ورقة بحث مع براندون كارتر، وزميل أمريكي هو جيم باردين، بينًّا فيها أنه رغم أن ثمَّة مشابهات كثيرة بين الإنتروبيا ومساحة أفق الحدث، فإن هناك تلك الصعوبة الظاهرة القاتلة. ويجب أن أقرّ أنني أثناء كتابة هذه الورقة كنت مدفوعًا جزئيًا. بالاستفزاز من بكنشتين، الذي أحسست أنه قد استغلَّ اكتشافي لزيادة مساحة أفق الحدث. على أنه قد ثبت في النهاية أنه هو الذي كان أساسًا على حق، ولكن ذلك كان على نحو لم يكن هو يتوقعه بالتأكيد.

بينما كنت أزور موسكو في سبتمبر عام 1973، ناقشتُ أمر الثقوب السوداء مع خبيرَين سوفياتيَّيْن، هما ياكوف زلدوفتش وألكسندر ستاروبنسكي. وأقنعاني بأنه حسب مبدأ الريبة لميكانيكا الكم، فإن الثقوب السوداء الدوّارة ينبغي أن تخلق وتبعث جسيمات. وآمنت بحججهم على أسس فيزيائية، ولكني لم أكن أميل للطريقة الرياضية التي حسبوا بها الإشعاع. وهكذا أخذت أعمل على ابتكار تناول رياضي أفضل، قمت بتوصيفه في ندوة غير رسمية في أكسفورد في نهاية نوفمبر من عام 1973. في هذا الوقت كنت لم أقُم بالحسابات اللازمة لمعرفة ما سيتم إشعاعه فعلًا. وكنتُ أتوقع أن أكتشف، فحسب، الإشعاع الذي تنبَّأ به زلدوفتش وستاروبنسكي من الثقوف السوداء الدوَّارة. على أني عندما قمت بالحسابات، وجدت لدهشتي وانزعاجي، أنه حتى

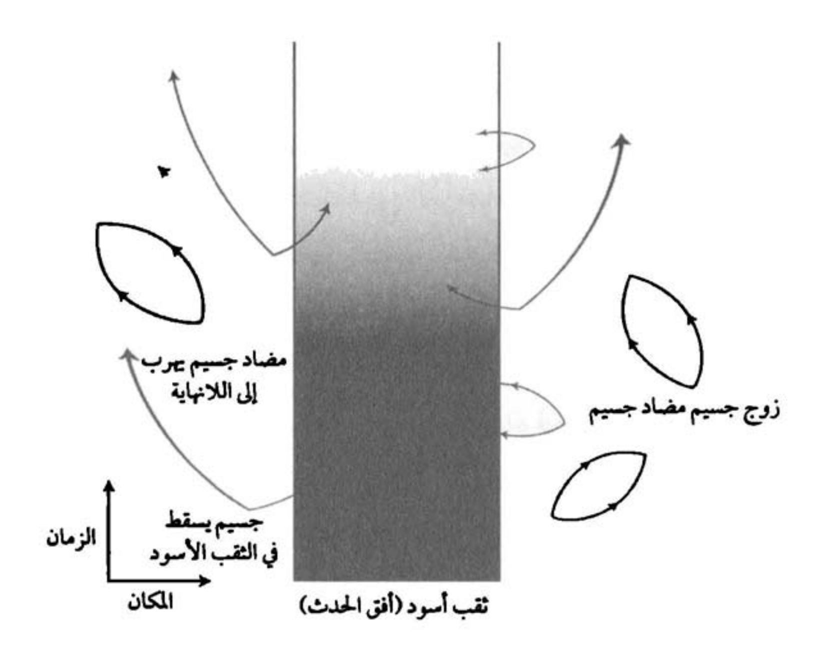
الثقوب السوداء غير الدوَّارة ينبغي، في ما يظهر، أن تخلق وتبعث جسيمات بسرعة ثابتة.. في أول الأمر اعتقدت أن هذا الإشعاع يدل على أن أحد التقريبات التي استخدمتها ليس صحيحًا. كنت أخشى أن لو عرف بكنشتين بهذا الأمر، فإنه سيستخدمه كحجة أخرى يدعم بها آراءه عن إنتروبيا الثقوب السوداء، التي ما زلت لا أحبها. على أني كلما فكرت في الأمر بدا أن هذه التقريبات ينبغي أن تكون صحيحة. إلا أن ما أقنعني في النهاية بأن الإشعاع حقيقي هو أن طيف الجسيمات المنبعثة كان بالضبط الطيف الذي سيبعثه جسم ساخن، وأن الثقب الأسود يبعث جسيمات هي بالضبط بالمعدل الصحيح لمنع انتهاك القانون الثاني. منذ ذلك الوقت تكرَّرت هذه الحسابات في عدد من الأشكال المختلفة بواسطة أفراد آخرين. وكلها أثبتت أن الثقب الأسود ينبغي أن يبعث جسيمات وإشعاعًا كما لو كان جسمًا ساخنًا له حرارة تعتمد فحسب على كتلة الثقب الأسود: فكلما زادت الكتلة، قلت الحرارة.

كيف يمكن للثقب الأسود أن يبود وكأنه يبعث بجسيمات، ونحن نعرف أن شيئًا لا يمكن أن يهرب من خلال أفق حدثه؟ الإجابة، التي تخبرنا بها نظرية الكم، هي أن الجسيمات لا تأتي من داخل الثقب الأسود، ولكن من الفضاء «الخاوي» في الخارج مباشرة من أفق حدث الثقب الأسود! يمكننا فهم ذلك بالطريقة التالية: إن ما نتصوره على أنه فضاء «خاوي» لا يمكن أن يكون خاويًا بالكامل لأن هذا سيعني أن كل المجالات، مثل مجالات

الجاذبية والكهرومغناطيسية، يجب أن تكون صفرًا بالضبط. على أن قيمة مجال ما وسرعة تغيره في الزمان هما مثل الموضع والسرعة لجسيم ما: ويدل مبدأ الريبة على أنه كلما زادت دقة ما يعرفه المرء عن أحد هذه المقادير، قلت دقة ما يمكن أن يعرفه عن الآخر. وهكذا فإنه في الفضاء الخاوي لا يمكن للمجال أن يكون ثابتًا عند الصفر بالضبط، لأنه عندئذ ستكون له كل من قيمة مضبوطة (صفر) ومعدل تغيُّر مضبوط (صفر أيضًا). يجب أن يكون ثمَّة قدر أدنى معيَّن من الريبة، أو تذبذبات أو تراوحات للكم، بالنسبة لقيمة المجال. يمكن للمرء أن يتصوَّر هذه التذبذبات كأزواج من جسيمات الضوء أو الجاذبية تظهر معًا في وقت ما، وتتحرَّك منفصلة، ثم تلتقي معًا ثانية ويُفني أحدها الآخر. وهذه الجسيمات جسيمات تقديرية مثل الجسيمات التي تحمل قوة جاذبية الشمس: وبخلاف الجسيمات الحقيقية، فإنها لا يمكن رصدها مباشرة بكشَّاف للجسيمات. إلا أن تأثيراتها غير المباشرة، مثل التغيُّرات الصغيرة التي تحدث في طاقة مدارات الإلكترونات في الذرة، يمكن قياسها وتتفق مع التنبؤات النظرية بدرجة ملحوظة من الدقة. مبدأ الريبة يتنبَّأ أيضًا بأنه ستكون هناك أزواج تقديرية مشابهة من جسيمات المادة، مثل الإلكترونات أو الكواركات. على أنه في هذه الحالة فإن أحد الفردين في الزوج يكون جسيمًا والآخر مضادًا للجسيم (مضادات جسيمات الضوء والجاذبية مماثلة للجسيمات).

ولمَّا كان من غير الممكن استحداث الطاقة من لا شيء، فإن

أحد الشريكين في زوج الجسيم/ مضاد الجسيم يكون له طاقة موجبة، وتكون للشريك الآخر طاقة سالبة. والجسيم ذو الطاقة السالبة محكوم عليه أن يكون جسيمًا تقديريًا. قصير العمر؛ لأن الجسيمات الحقيقية لها دائمًا في الأوضاع الطبيعية طاقة موجبة. ولذا فإنه يجب أن يجدّ في طلب شريكه ويفنى معه. على أن الجسيم الحقيقي عندما يكون على مقربة من جسم ضخم الكتلة تكون له طاقة أقل مما لو كان بعيدًا عنه، ذلك أن نقله بعيدًا ضد شد جاذبية الجسم سيتطلَّب استهلاك طاقة. وفي الأحوال الطبيعية تظل طاقة الجسيم إيجابية، ولكن مجال الجاذبية من داخل الثقب الأسود يبلغ من القوة أنه حتى الجسيم الحقيقي يمكن أن تكون طاقته سالبة هناك. وإذن فإذا كان ثمَّة ثقب أسود موجود فإن من الممكن للجسيم التقديري ذي الطاقة السالبة أن يسقط في داخل الثقب الأسود، ويصبح جسيمًا حقيقيًا أو مضاد جسيم. وفي هذه الحالة لن يكون عليه أن يفنى مع شريكه. أما شريكه المنبوذ فإنه قد يسقط أيضًا إلى داخل الثقب الأسود. أو أنه بما له من طاقة موجبة، قد يهرب أيضًا من جوار الثقب الأسود كجسيم حقيقي أو مضاد جسيم شكل (7-4). وبالنسبة للراصد له عن بعد، سيبدو له أنه قد انبعث من الثقب الأسود. وكلما صغر الثقب الأسود، قصرت المسافة التي يكون على الجسم ذي الطاقة السالبة أن يقطعها قبل أن يصبح جسيمًا حقيقيًا، وهكذا تتزايد سرعة الإشعاع من الثقب الأسود وتتزايد حرارته الظاهرية.



شكل (7–4)

الطاقة الموجبة للإشعاع الخارج ستوازن بواسطة تدفّق من جسيمات سالبة الطاقة لداخل الثقب الأسود. حسب معادلة آينشتاين $E=mc^2$ (حيث E هي الطاقة، و m هي الكتلة و c هي سرعة الضوء)، فإن الطاقة تتناسب مع الكتلة. وإذن فإن تدفّق الطاقة السالبة في داخل الثقب الأسود سيقلل من كتلته. وإذا يفقد الثقب الأسود من كتلته، فإن مساحة أفق حدثه تصبح أصغر، ولكن هذا الإنقاص من إنتروبيا الثقب الأسود يتم تعويضه وأكثر بواسطة إنتروبيا الإشعاع المنبعث، وهكذا فإن القانون الثاني لا يُنتهك قط.

وفق ذلك، فإنه كلما صغُرت كتلة الثقب الأسود، زادت حراراته. وهكذا فإن الثقب الأسود إذ يفقد من كتلته، فإن حراراته تزيد وأيضًا معدل الإشعاع منه، وبهذا فإنه يفقد من كتلته بمعدل أسرع. ليس من الواضح تمامًا ماذا يحدث عندما تصبح كتلة الثقب الأسود في النهاية بالغة الصغر، على أن أكثر تخمين معقول هو أنه سيختفي تمامًا في تفجّر هائل نهائيّ مشعٌ، يعادل انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية.

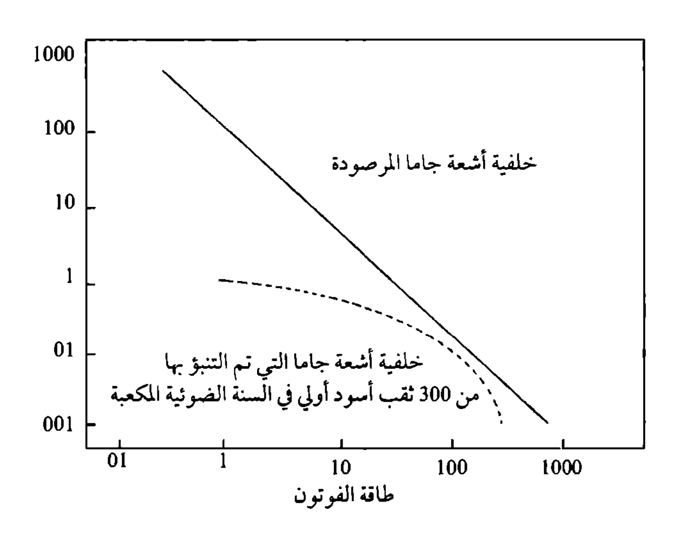
الثقب الأسود الذي تكون كتلته ضعف كتلة الشمس لمرَّات معدودة ستكون حرارته أعلى من الصفر المطلق بقدر هو فقط جزء واحد من عشرة ملايين من الدرجة. وهذا أقل كثيرًا من حرارة الإشعاع الميكروويفي الذي يملأ الكون (نحو 2.7 درجة فوق الصفر المطلق)، وهكذا فإن هذه الثقوب السوداء ستشع حتى بأقل مما تمتص. ولو كان مصير الكون، أن يظل يتمدَّد طوال الوقت، فإن حرارة الإشعاع الميكروويفي ستقل في النهاية إلى ما هو أدنى من حرارة ثقب أسود كهذا، والذي سيبدأ وقتها في أن يفقد جزءًا من كتلته. ولكن حتى آنذاك، فإن حرارته سيبلغ من انخفاضها أن تبخُّره تبخُّرًا كاملًا سيتطلَّب ما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون سنة (1 يعقبه ستة وستون صفرًا). وهذا أطول كثيرًا من عمر الكون، الذي يبلغ فقط عشرة أو عشرين ألف مليون سنة (1 أو 2 يعقبها عشرة أصفار). ومن الناحية الأخرى، فكما ذُكر في الفصل

السادس، قد يكون ثمَّة ثقوب سوداء بدائية كتلتها أصغر كثيرًا وقد صنعت من تقلُّص مناطق الكون غير المنتظمة في مراحله المبكِّرة جدًا. مثل هذه الثقوب السوداء ستكون لها درجات حرارة أعلى كثيرًا وستبعث الإشعاع بمعدل أكبر جدًا. الثقب الأسود البدائي الذي تكون كتلته الابتدائية ألف مليون طن سيكون عمره مساويًا بالتقريب لعمر الكون. والثقوب السوداء البدائية ذات الكتلة الابتدائية الأصغر من هذا الرقم ستكون بالفعل قد تبخَّرت بالكامل، أما تلك ذات الكتلة الأكبر قليلًا فإنها ستظل تبعث الإشعاع في شكل أشعة إكس وأشعة جاما. أشعة إكس وجاما هذه تشبه موجات الضوء. إلا أن طول موجتها أقصر كثيرًا. ومثل هذه الثقوب لا تكاد تستحق لقب «السوداء»: فهي في الحقيقة «بيضاء ساخنة» وتبعث بالطاقة بمعدَّل يقرب من عشرة آلاف ميجاوات.

ثقب أسود واحد كهذا يمكن أن يشغِّل عشر محطات كهرباء كبيرة لو أمكننا فقط التحكم في قوته. على أن هذا أمر صعب نوعًا: فالثقب الأسود ستكون له كتلة جبل مضغوطة في ما يقل عن جزء من مليون المليون من البوصة، أي حجم نواة! ولو كان لديك أحد الثقوب السوداء على سطح الأرض، فلن تكون ثمَّة طريقة لإيقافه عن أن يهوي من خلال أرضية البيت ليصل إلى مركز الأرض. وسوف يتذبذب خلال الأرض ليرتد ثانية، حتى يستقر في النهاية في القرار عند المركز. وإذن فإن المكان الوحيد الذي يوضع فيه ثقب أسود كهذا، والذي يمكن فيه للمرء أن يستخدم الطاقة

التي يبعثها. سيكون مدارًا حول الأرض، والطريقة الوحيدة التي يمكن للمرء أن يصل بها إلى أن يجعله في مدار حول الأرض هي أن يجذبه هناك بأن يدفع أمامه كتلة كبيرة، بما يشبه الجزرة التي توضع أمام الحمار. ولا يبدو هذا كاقتراح جد عملي، على الأقل ليس في المستقبل القريب.

ولكن حتى إذا لم نتمكن من التحكم في الإشعاع المنبعث من هذه الثقوب السوداء البدائية، فما فرصة رصدنا لها؟ يمكننا أن نبحث عن أشعة جاما التي تبعث بها الثقوب السوداء البدائية أثناء معظم زمان حياتها. ورغم أن الإشعاع من معظمها ضعيفًا جدًا لأنها بعيدة جدًا، إلا أن مجموع ما يصدر عنها كلها قد يكون مما يمكن الكشف عنه.



شكل (7–5)

نحن نرصد بالفعل خلفية كهذه من أشعة جاما: وشكل (7–5) يبيِّن كيف أن شدتها المرصودة تختلف عند الترددات المختلفة (عدد الموجات لكل ثانية). على أن هذه الخلفية كان يمكن أن تكون، ويحتمل أنها كانت، متولِّدة عن عمليات أخرى غير الثقوب السوداء البدائية. الخط المتقطِّع في شكل (7–5) يبيِّن كيف أن شدة أشعة جاما ينبغي أن تختلف مع اختلاف تردد أشعة جاما المنبعثة من الثقوب السوداء البدائية، لو كان هناك في المتوسط 300 ثقب لكل سنة ضوئية مكعبة. يستطيع المرء إذن أن يقول إن مشاهدات خلفية أشعة جاما لا تمد بأي برهان «إيجابي» على الثقوب السوداء البدائية، ولكنها تخبرنا بالفعل أنه في المتوسط لا يمكن أن يكون هناك أكثر من 300 ثقب في سنة ضوئية مكعّبة في الكون. هذا الحد يعني أن الثقوب السوداء البدائية يمكن في أقصى الحدود أن تؤلِّف واحدًا في المليون من المادة التي في الكون.

مع هذه الندرة للثقوب السوداء البدائية، فإنه قد يبدو من غير المحتمل أن أحدها سيكون قريبًا لنا بما يكفي لرصده كمصدر منفرد لأشعة جاما. ولكن حيث إن الجاذبية ستشد الثقوب السوداء البدائية إلى أي مادة، فإنها ينبغي أن تكون أكثر شيوعًا في المجرات ومن حولها. وهكذا فعلى الرغم من أن خلفية أشعة جاما تنبئنا أنه لا يمكن أن يوجد في المتوسط أكثر من 300 ثقب أسود بدائي لكل سنة ضوئية مكعبة، إلا أنها لا تخبرنا بشيء عن مدى ما قد يكون من شيوعها في مجرتنا نفسها. فلو كانت مثلًا

أكثر شيوعًا عن ذلك بمليون مرة، فإن أقرب ثقب أسود لنا سيكون إذن في ما يُحتمل على مسافة تقرب من ألف مليون كيلومتر، أو ما يقرب من بُعْد بلوتو عنَّا، وهو أبعد الكواكب المعروفة. عند هذه المسافة سيظل من الصعب جدًا الكشف عن الإشعاع المطَّرد لأحد الثقوب السوداء، حتى لو كان من عشرة آلاف ميجاوات. حتى يمكن رصد ثقب أسود بدائي سيكون على المرء أن يكشف عن كمَّات متعدِّدة لأشعة جامّا تأتي من الاتجاه نفسه خلال مدى معقول من الزمن. كأسبوع واحد مثلًا. فإنها قد تكون ببساطة جزءًا من الخلفية. ولكن مبدأ كَمّ بلانك يخبرنا أن كل كَمّة لأشعة جامّا لها طاقة كبيرة جدًا، لأن أشعة جاما لها تردُّد عالٍ جدًا، وهكذا فإن الأمر لن يتطلَّب كَمّات كثيرة لإشعاع ما يبلغ حتى عشرة آلاف ميجاوات. وحتى يمكن رصد تلك القلة التي تأتي من بعد مثل بعد بلوتو سيتطلَّب الأمر كشَّافًا لأشعة جامّا أكبر من أي من الكشَّافات التي بُنيت حتى الآن. وفوق ذلك فإن الكشَّاف ينبغي أن يكون في الفضاء، لأن أشعة جامّا لا تستطيع اختراق الغلاف الجوي.

وبالطبع، لو أن ثقبًا أسود على بُعْد مماثل لبعد بلوتو وصل إلى نهاية عمره وانفجر، فسيكون من السهل الكشف عن التفجر النهائي للإشعاع. ولكن لو أن الثقب الأسود ظل يشع طيلة آخر عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، فإن فرصة وصوله إلى نهاية عمره خلال السنوات المعدودة القادمة بدلًا من الملايين العديدة

من السنوات في الماضي أو المستقبل، لهي حقًا فرصة صغيرة! وهكذا فإنه حتى تكون ثمَّة فرصة معقولة لرؤية أحد الانفجارات قبل أن تنفد منحة بحثك، سيكون عليك أن تجد طريقة للكشف عن أي انفجارات خلال مدى يقرب من سنة ضوئية واحدة، وستظل لديك مشكلة الاحتياج إلى كشَّاف كبير لأشعة جاما لرصد العديد من كَمّات إشعاع جامّا الآتية من الانفجار. على أنه في هذه الحالة، لن يكون من الضروري تحديد أن كل الكمات قد أتت من الاتجاه نفسه: فسيكون كافيًا رصد أنها كلها قد وصلت خلال فترة زمنية قصيرة جدًا حتى يكون المرء واثقًا على نحو معقول من أنها تأتي من التفجّر نفسه.

كشَّاف أشعة جامّا الذي يمكن أن تكون له القدرة على الكشف عن الثقوب السوداء البدائية هو الغلاف الجوي للأرض بأسره. (وعلى أي حال فإن من غير المحتمل أننا نستطيع بناء كشَّاف أكبر!) وعندما يصطدم كَمّ أشعة جاما ذو الطاقة العالية بالذرات التي في غلافنا الجوي، فإنه يخلق أزواجًا من الإلكترونات والبوزيترونات (مضادات الإلكترونات). وعندما تصطدم هذه بذرّات أخرى فإنها بدورها تخلق أزواجًا أكثر من الإلكترونات والبوزيترونات، وهكذا يلقى المرء ما يسمَّى وابلًا إلكترونيًا electronic shower. والنتيجة هي نوع من الضوء يسمَّى إشعاع سيرنكوف. ويستطيع المرء إذن أن يكشف عن تفجّرات أشعة جاما بالبحث عن ومضات ضوء في سماء الليل. وبالطبع فإن

هناك عددًا من الظواهر الأخرى، مثل البرق وانعكاسات ضوء الشمس عن الأقمار الصناعية الهاوية، هي والبقايا التي تدور في أفلاك، كلها يمكن أيضًا أن تعطي ومضات في السماء. ويمكن للمرء تمييز تفجّرات أشعة جاما عن مثل هذه الظواهر برصد الومضات في الوقت نفسه من موضعَيْن أو أكثر يبعد أحدها عن الآخر بعدًا واسعًا إلى حدٍّ ما. أُجريَ بحث كهذا بواسطة عالمَيْن من دبلن هما نيل مورتر وتريفور ويكس، واستخدما لذلك تلسكوبات في أريزونا، وقد وجدا عددًا من الومضات، ولكن أيًا منها لم يكن مما يمكن إرجاعه على نحو مؤكَّد إلى تفجّرات أشعة جاما من الثقوب السوداء البدائية.

لا شك أنه إذا كان لثقب أسود قريب مثل «بلوتو» أن يصل إلى نهاية حياته وينفجر، سيكون من السهل الكشف عن بث التفجّر النهائي. ولكن إذا كان الثقب الأسود يظل يبث إشعاعًا طيلة آخر عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، فإن احتمال أن يصل إلى نهاية حياته خلال السنوات القليلة التالية، بدلًا من ملايين عديدة من السنين في الماضي أو المستقبل، لهو حقًا احتمال صغير نوعًا. وهكذا فإنه حتى تكون لديك فرصة معقولة لرؤية انفجار قبل استنفادك لمنحة بحثك، سيكون عليك أن تجد طريقة للكشف عن أي انفجارات خلال مسافة تقرُب من سنة ضوئية واحدة. الحقيقة هي أن تفجرَّات أشعة جاما من الفضاء قد تم اكتشافها بواسطة أقمار صناعية أُنشئت أصلًا للبحث عن الانتهاكات لمعاهدة

حظر الاختبارات. يبدو أن هذه التفجرات تحدث بمعدل يقرب من ست عشرة مرة لكل شهر وأنها تُعَدّ على نحو تقريبي موزَّعة باتساق في الاتجاه عبر السماء. يدل هذا على أنها تأتي من خارج النظام الشمسي، لأنه لو كان الأمر غير ذلك لتوقّعنا أنها ستكون مركَّزة تجاه مستوى مدارات الكواكب. التوزيع المتَّسق يدل أيضًا على مصادر الأشعة إما أن تكون قريبة منَّا إلى حدٍّ ما في مجرتنا أو أنها في خارجها مباشرة على بعد مسافات كونية لأنه مرة أخرى لو كان الأمر غير ذلك سيكون ارتفاعها أعلى بكثير من أن تنتج عن ثقوب سوداء بالغة الصغر، ولكن لو كانت مصادر الأشعة قريبة بالمعنى المجَرّي، فسيكون من الممكن أنها ثقوب سوداء متفجرة. أود كثيرًا أن يكون هذا هو الحال ولكن عليَّ أن أدرك أن هناك تفسيرات أخرى ممكنة لتفجّرات أشعة جاما، مثل اصطدام النجوم النيوترونية. والآن، فإن الأرصاد الجديدة في السنوات القليلة التالية، خاصة بواسطة كشَّافات الموجة الجذبوية مثل «ليجو»، ينبغي أن تؤدِّي إلى تمكيننا من اكتشاف أصل تفجرات أشعة جاما.

وحتى لو ثبت أن البحث عن الثقوب السوداء البدائية أمر سلبي، كما يبدو، فإنه مع ذلك سيعطينا معلومات مهمة عن أطوار الكون المبكِرة جدًا. ولو كان الكون المبكِر في حالة فوضى أو عدم انتظام، أو كان ضغط المادة منخفضًا، فإن المرء ليتوقَّع له أنه سيُنتج عددًا من الثقوب السوداء البدائية أكثر كثيرًا من الحد

الذي حدَّدته من قبل مشاهداتنا عن خلفية أشعة جاما. ولا يستطيع المرء أن يفسِّر عدم وجود أعداد قابلة للرصد من الثقوب السوداء البدائية إلا لو كان الكون المبكر مستويًا ومتسقًا جدًا وذا ضغط عالٍ.

فكرة الإشعاع من الثقوب السوداء هي أول مثال لتنبؤ يعتمد بطريقة جوهرية على كلتا النظريتَيْن العظيمتَيْن لهذا القرن، النسبية العامة وميكانيكا الكم. وقد أثارت في أول الأمر معارضة جمَّة لأنها زعزعت وجهة النظر الموجودة: «كيف يمكن لثقب أسود أن يشع أي شيء؟» وعندما أعلنت أول مرة نتائج حساباتي في مؤتمر بمعمل روذرفورد - أبلتون بالقرب من أكسفورد، قوبِلْت بارتياب عام. في نهاية حديثي زعم رئيس الجلسة جون ج. تايلور في كلية الملك في لندن، أن كل حديثي هراء. بل إنه كتب ورقة بحث بهذا المعنى. على أن معظم الناس في النهاية، بمن فيهم جون تايلور، وصلوا إلى استنتاج أن الثقوب السوداء يجب أن تشع مثل الأجسام الساخنة إذا كانت أفكارنا عن النسبية العامة وميكانيكا الكم صحيحة. وهكذا، فعلى الرغم من أننا لم نتمكن بعدُ من العثور على ثقب أسود بدائي، إلا أن ثمَّة اتفاقًا عامًا على أننا لو عثرنا عليه، فيجب أن يكون بحيث يشع الكثير من أشعّتَيْ جاما وإكس.

وجود إشعاع من الثقوب السوداء يبدو أنه يدل على أن التقلص بالجاذبية ليس نهائيًا وليس غير قابل للعكس بمثل ما كنَّا نعتقده

ذات مرة. ولو سقط رائد فضاء في ثقب أسود، فإن كتلة الثقب الأسود ستزيد، على أنه في النهاية ستُعاد إلى الكون الطاقة المكافأة لهذه الكتلة الإضافية في شكل إشعاع. وهكذا فإن رائد الفضاء بمعنى ما، «ستتكرَّر دورته». على أن هذا نوع بائس من الخلود، لأن أي مفهوم شخصي عن الزمان بالنسبة لرائد الفضاء سينتهي بما يكون مؤكدًا عندما يتمزَّق بددًا في داخل الثقب الأسود! وحتى أنواع الجسيمات التي يشعّها الثقب الأسود في النهاية ستكون على نحو عام مختلفة عن تلك التي كانت تكوِّن رائد الفضاء: والملمح الوحيد الذي سيبقى من رائد الفضاء كتلته أو طاقته.

التقريبات التي استخدمتها لاستنتاج حدوث إشعاع من الثقوب السوداء ينبغي أن تكون مما يصلح للعمل عندما تكون للثقب الأسود كتلة أعظم من جزء من الجرام. على أنها ستنهار عند نهاية عمر الثقب الأسود عندما تصبح كتلته صغيرة جدًا. يبدو أن أكثر النتائج احتمالًا هو أن الثقب الأسود سيختفي فحسب، على الأقل من منطقتنا في الكون، آخذًا معه رائد الفضاء وأي متفرِّدة قد تكون من داخل الثقب، لو كان هناك حقًا وجود لإحداها. قد كان هذا بمثابة الإشارة الأولى إلى أن ميكانيكا الكَمّ قد تزيل المتفرِّدات التي كانت النسبية العامة قد تنبَّأت بها. على أن المناهج التي كنت استخدمها أنا والأفراد والآخرون في عام 1974 لم تكن تستطيع الإجابة عن أسئلة مثل ما إذا كانت المتفرِّدات هي ما سيحدث في

جاذبية الكم. ابتداءً من عام 1975 فصاعدا بدأتُ إذن في تطوير تناول أقوى لجاذبية الكم يتأسَّس على فكرة ريتشارد فينمان عن حاصل جمع التواريخ Sum over histories . ما يقترحه هذا التناول من إجابات عن أصل ومصير الكون ومحتوياته، مثل رواد الفضاء، سيتم توصيفه في الفصلَيْن التاليين: وسوف نرى أنه رغم ما يضعه مبدأ الريبة من قيود على دقة تنبؤاتنا كلنا، إلا أنه في الوقت نفسه قد يزيل ما يحدث من عجز أساسي عن التنبؤ عند متفرِّدة المكان - الزمان.

* * *

(8)

أصل ومصير الكون

تتنبَّأ نظرية آينشتاين عن النسبية العامة، في ذاتها، بأن المكان - الزمان يبدأ عند متفرِّدة الانفجار الكبير وسوف يصل إلى نهايته إما عند متفرِّدة الانسحاق الكبير (إذا تقلَّص الكون كله ثانية)، أو عند متفرِّدة من داخل ثقب أسود (لو تقلَّصت منطقة محدَّدة، مثل أحد النجوم)، وأي مادة هوت في داخل الثقب ستتدمر عند المتفرِّدة، ولن يظل محسوسًا في الخارج إلا تأثير جاذبية كتلتها. ومن الناحية الأخرى، عندما يؤخذ في الحسبان تأثيرات الكم، فإنه يبدو أن كتلة أو طاقة المادة ستُعاد في النهاية إلى باقي الكون، وأن الثقب الأسود هو وأي متفرِّدة من داخله، سوف يتبخَّر بعيدًا ليختفي في النهاية. هل يكون لميكانيكا الكم تأثير درامي مساوٍ لذلك على مفردتَي الانفجار الكبير والانسحاق الكبير؟ ما الذي يحدث حقًا أثناء الأطوار المبكِّرة جدًا أو المتأخِّرة جدًا من الكون، عندما تكون مجالات الجاذبية من القوة بحيث لا يمكن تجاهل تأثيرات الكم؟ هل للكون حقيقة بداية أو نهاية؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف تبدوان؟

في أثناء عقد السبعينيات، كنت أدرس أساسًا الثقوب السوداء، ولكن في عام 1981 تيقَّظ اهتمامي ثانية بأسئلة حول أصل ومصير الكون وذلك عندما حضرت مؤتمرًا عن الكونيات نظَّمه الجيزويت في الفاتيكان. كانت الكنيسة الكاثوليكية قد ارتكبت خطأً سيئًا في حق جاليليو عندما حاولت أن تفرض كلمتها في مسألة علمية، معلنة أن الشمس تدور حول الأرض. والآن، بعد مرور قرون قررت الكنيسة أن تدعو عددًا من الخبراء لينصحوها في ما يتعلَّق بعلم الكون. وفي نهاية المؤتمر تشرَّف المساهمون بلقاء مع البابا. أخبرنا البابا بأنه لا بأس من دراسة تطور الكون بعد الانفجار الكبير، ولكننا ينبغي ألا نبحث أمر الانفجار الكبير نفسه لأن هذه هي لحظة الخلق وبالتالي فهي من صنع الرب. سعدت وقتها لأن البابا لم يعرف موضوع الخطاب الذي كنت ألقيته للتوّ في المؤتمر. وهو إمكان أن يكون المكان – الزمان متناهيًا ولكنه بلا حد، وهذا يعني أنه ليست له بداية، وليس له لحظة خلق. لم تكن لديَّ رغبة في أن أشارك جاليليو مصيره، وأنا أشعر أن هويتَيْنا متماثلتان، وسبب ذلك جزئيًا هو تصادف أني وُلدتُ بعد وفاته بثلاثمائة سنة بالضبط!

حتى أفسِّر ما لديَّ ولدى أناس آخرين من أفكار عن كيفية تأثير ميكانيكا الكم في أصل ومصير الكون، فإنه من الضروري أولًا فهم تاريخ الكون المقبول بصفة عامة، حسب ما يُعرف بـ«نموذج الانفجار الكبير الساخن». ويفترض هذا أن الكون يوصِّفه نموذج

فريدمان بما يرتد مباشرة حتى الانفجار الكبير. في مثل هذه النماذج يجد المرء أنه إذ يتمدَّد الكون، فإن أي مادة فيه أو إشعاع يصبح أبرد. (عندما يتضاعف حجم الكون، تنخفض حراراته إلى النصف). ولما كانت الحرارة مجرَّد مقياس لمتوسط طاقة - أو سرعة - الجسيمات، فإن تبريد الكون هذا يكون له تأثير جوهري على ما فيه من مادة. عند درجات الحرارة العالية جدًا، تتحرَّك الجسيمات في ما حولها بسرعة تبلغ من قدرها أن الجسيمات تستطيع أن تفرّ من أي تجاذب فيما بينها يرجع إلى القوى النووية أو الكهرومغناطيسية، ولكنها إذ تبرد فإن المرء يتوقَّع أن هذه الجسيمات سيجذب أحدها الآخر لتبدأ في التكتل ثانية. وفوق ذلك فإنه حتى نوع الجسيمات التي توجد في الكون سيعتمد على درجة الحرارة. ففي درجات الحرارة العالية بما يكفي، يكون للجسيمات قدر كبير من الطاقة بحيث إنها كلما ارتطمت نتجت عن ذلك أزواج كثيرة مختلفة من الجسيمات/ مضادات الجسيمات - ورغم أن بعض هذه الجسيمات سيفنى إذ يصطدم بمضادات الجسيمات، إلا أنها سيتم إنتاجها بسرعة أكبر مما تستطيع أن تفنى به. على أنه في درجات الحرارة الأكثر انخفاضًا، إذ تكون الجسيمات المتصادمة ذات طاقة أقل، فإن سرعة إنتاج أزواج الجسيمات/ مضادات الجسيمات سوف تقل، وتصبح السرعة التي تفنى بها أكبر من سرعة إنتاجها.

ويُعتقد، أن الكون وقت الانفجار الكبير نفسه كان حجمه

صفرًا، وبهذا فإنه يكون ساخنًا على نحوٍ لا متناهٍ. ولكن الكون إذ يتمدَّد، فإن حرارة الإشعاع تقل. وبعد الانفجار الكبير بثانية واحدة، تكون الحرارة قد هبطت لما يقرب من عشرة آلاف مليون درجة. وهذا يبلغ ما يقرب من ألف ضعف درجة الحرارة في مركز الشمس، ولكن درجات الحرارة العالية كهذه يتم الوصول إليها في انفجارات القنبلة الهيدروجينية. يكون ما يحتوي الكون عليه في هذا الوقت هو في الغالب فوتونات، وإلكترونات وجسيمات نيوترينو neutrinos (جسيمات خفيفة جدًا لا تتأثَّر إلا بالقوى الضعيفة والجاذبية). ومضادات جسيماتها، مع بعض البروتونات والنيوترونات. وإذ يستمر الكون في التمدُّد والحرارة في الانخفاض، فإن السرعة التي يتم بها إنتاج أزواج الإلكترون/ مضاد الإلكترون بالاصطدامات ستنخفض إلى أقل من معدل تدميرها بالإفناء. وهكذا فإن معظم الإلكترونات ومضادات الإلكترونات سيفنى أحدها بالآخر لتنتج المزيد من الفوتونات، ولا تترك إلا عددًا قليلًا من الإلكترونات الباقية. على أن جسيمات النيوترينو ومضاداتها لا يفنى أحدها بالآخر، لأن هذه الجسيمات لا تتفاعل مع نفسها ومع الجسيمات الأخرى إلا على نحو ضعيف جدًا. وهكذا فإنها ينبغي أن تظل موجودة اليوم في ما حولنا. ولو أمكننا رصدها، فإنها ستمدنا باختبار جيد لهذه الصورة عن مرحلة الكون المبكِّرة والساخنة جدًا. ولسوء الحظ، فإن طاقاتها في الوقت الحاضر ستكون أكثر انخفاضًا من أن نتمكن من رصدها مباشرة. على أنه إذا كانت جسيمات النيوترينو

ليست بلا كتلة، وإنما لها ما يخصها من كتلة صغيرة، كما يُستدل على ذلك من تجربة روسية غير مؤكدة أُجريت في عام 1981، فإننا قد يمكننا الكشف عنها بطريقة غير مباشرة: ومن الممكن أنها شكل من «المادة المظلمة» مثل تلك التي سبق ذكرها، ولها قوة شد بالجاذبية تكفي لوقف تمدد الكون وتسبّب تقلّصه ثانية.

بعد الانفجار الكبير بما يقرب من مائة ثانية، انخفضت الحرارة إلى ألف مليون درجة، وهي درجة الحرارة من داخل أسخن النجوم. عند هذه الحرارة فإن البروتونات والنيوترونات لا تصبح لديها بعد الطاقة الكافية للهرب من جاذبية القوة النووية القوية، وتبدأ في الاتحاد معًا لإنتاج نوى ذرات الديتروريم (الهدروجين الثقيل). التي تحوي بروتونًا واحدًا، ونيوترونًا واحدًا. نوى الديترويوم تتحد بعدها بالمزيد من البروتونات والنيوترونات لتصنع نوى الهليوم، التي تحوي بروتونين ونيوترونين، وتصنع أيضًا كميات صغيرة من عنصرين أثقل هما الليثيوم والبرليوم. يمكن للمرء أن يحسب أنه في نموذج الانفجار الكبير الساخن، سيتحوَّل ما يقرب من ربع البروتونات والنيوترونات إلى نوى هيليوم، وذلك مع قدر صغير من الهيدروجين الثقيل والعناصر الأخرى. وتتحلَّل النيوترونات الباقية إلى بروتونات، هي نوى ذرات الهيدروجين العادية.

هذه الصورة عن طور مبكِّر ساخن للكون طرحها لأول مرة العالم جورج جاموف في ورقة بحث شهيرة كتبها عام 1948 مع

أحد طلبته وهو رالف ألفر. ولما كان لجاموف حس فكاهي إلى حد بعيد، فقد حث العالم النووي هانزبيث أن يضيف اسمه إلى الورقة لتصبح قائمة مؤلفيها «ألفر، وبيث، وجاموف» مشابهة للحروف الثلاثة الأولى للأبجدية الإغريقية. ألفا، وبيتّا، وجاما. وهو ما يلائم على وجه الخصوص ورقة بحث عن بدء الكون! وقد وصلوا في ورقة البحث هذه إلى تنبُّؤ رائع بأن الإشعاع، (في شكل فوتونات) من أطوار الكون المبكِّرة الساخنة جدًا، ينبغي أن يكون باقيًا اليوم في ما حولنا، إلا أن حرارته هبطت إلى درجات معدودة فحسب فوق الصفر المطلق(- 273 درجة مئوية). وكان هذا الإشعاع هو ما وجده بنزياس وويلسون في عام 1965. عندما كتب ألفر وبيث وجاموف ورقة بحثهم، لم يكن يُعرف الكثير عن التفاعلات النووية للبروتونات والنيوترونات. وهكذا فإن التنبؤات التي وُضعت عن نسب العناصر المختلفة في الكون المبكر كانت غير دقيقة نوعًا، إلا أن هذه الحسابات أُعيدت في ضوء معرفة أفضل وهي الآن تتفق على نحو جيد جدًا مع مشاهداتنا. وبالإضافة، فإن من الصعب جدًا أن يُفسَّر بأي طريقة أخرى السبب في أن الهليوم ينبغي أن يوجد بكثرة هكذا في الكون. وإذن فإننا واثقون من أن لدينا الصورة الصحيحة، على الأقل بما يرجع إلى الوراء حتى ما يقرب من الثانية الواحدة بعد الانفجار الكبير.

في خلال ساعات معدودة فحسب من الانفجار الكبير، يكون

إنتاج الهليوم والعناصر الأخرى قد توقَّف. وبعد ذلك، فإن الكون طيلة المليون سنة التالية أو ما يقرب من ذلك، يواصل تمدده فحسب، من دون أن يحدث الشيء الكثير. وفي النهاية، فإنه ما إن تنخفض درجة الحرارة إلى آلاف معدودة من الدرجات، ولا تصبح بعد لدى الإلكترونات والنويات الطاقة الكافية للتغلب على ما يكون بينها من جذب كهرومغنطي، فإنها تبدأ في الاتحاد لتكوين الذرات. ويستمر الكون ككل في أن يتمدَّد ويبرد، على أنه في المناطق التي تكون أكثر كثافة قليلًا عن المتوسط، فإن سرعة التمدد تصبح أبطأ بواسطة الشد الإضافي للجاذبية. ويؤدِّي هذا في النهاية إلى توقُّف التمدد في بعض المناطق ويجعلها تبدأ في التقلُّص ثانية. وأثناء تقلصها، فإن شد جاذبية المادة التي من خارج هذه المناطق قد يجعلها تبدأ في الدوران ببطء. وإذ تصبح المنطقة المتقلِّصة أصغر، فإنها تلف أسرع، تمامًا مثل المتزحلقين الذين يلفون على الجليد إذ تزيد سرعة لفهم عندما يضمون أذرعهم للداخل. وفي النهاية، عندما تصبح المنطقة صغيرة بما يكفي، يصبح دورانها سريعًا بما يكفي للتوازن مع شد الجاذبية، وبهذه الطريقة تتم ولادة المجرات الدوَّارة التي تشبه القرص. أما المناطق الأخرى التي لا يتفق أنها تكتسب الدوران، فإنها تصبح أشياء بيضاوية الشكل تسمَّى المجرات الإهليلجية. وفي هذه المجرات تتوقَّف المنطقة عن التقلص، لأن الأجزاء المفردة من المجرة تلف بثبات حول مركزها، ولكن المجرة ككل ليس لها دوران.

وإذ يمضي الوقت، يتفكَّك غاز الهيدروجين والهليوم في المجرات إلى سُحُب أصغر تتقلَّص بتأثير جاذبيتها هي نفسها. وإذ تنمكش هذه، وتصطدم الذرات من داخلها إحداها بالأخرى، تزيد حرارة الغاز، حتى يصبح في النهاية ساخنًا بما يكفي لبدء تفاعلات نووية اندماجية. وهذه التفاعلات تحوِّل الهيدروجين إلى المزيد من الهليوم، فتنبعث الحرارة لتزيد من الضغط، وهكذا فإنه يوقف انكماش السحب لأبعد من ذلك. وتظل السحب مستقرَّة على هذا الحال زمنًا طويلًا كنجوم مثل شمسنا، وهي تحرق الهيدروجين إلى هليوم وتشع الطاقة الكامنة كحرارة وضوء. النجوم ذات الكتلة الأكبر تحتاج إلى أن تكون أسخن حتى توازن شد جاذبيتها الأقوى، الأمر الذي يجعل تفاعلات الاندماج النووى تجري بسرعة أكبر بكثير، بحيث تستهلك هذه النجوم ما بها من هيدروجين في زمن قليل يقترب من مائة مليون سنة. وبعدها فإنها تنكمش قليلًا، وإذ تسخن أكثر، فإنها تبدأ في تحويل الهليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون أو الأوكسيجين. على أن هذا لا يتنتج عنه انطلاق طاقة أكبر كثيرًا، وهكذا تحدث أزمة، كما تم توصيفها في فصل الثقوب السوداء. وما يحدث بعد ذلك ليس واضحًا تمامًا، ولكن يبدو من المحتمل أن المناطق المركزية في النجم تتقلَّص إلى حالة كثيفة جدًا، كنجم النيوترون أو الثقب الأسود. المناطق الخارجية من النجم قد تُفجر أحيانًا في انفجار هائل يسمَّى فوق المتوهِّج Supernova (سوبر نوفا)، فيكون أكثر تألقًا من كل النجوم الأخرى في مجرته. بعض

العناصر الأثقل التي يتم إنتاجها قرب نهاية عمر النجم يقذف بها ثانية إلى الغاز في المجرة، وتمد ببعض المادة الخام للجيل التالي من النجوم. شمسنا نحن تحوي ما يقرب من 2 في المائة من هذه العناصر الأثقل، لأنها نجم من جيل ثان أو ثالث، تكوِّن منذ ما يقرب من خمسة آلاف مليون سنة من سحابة من غاز دوَّار تحوي بقايا السوبرنوفات الأقدم. ومعظم الغاز في هذه السحابة راح ليكوِّن الشمس، أو هو قد نُفخ بعيدًا، ألا أن كمية صغيرة من العناصر الأثقل تتجمَّع معًا لتشكل الأجسام التي تدور حول الشمس ككواكب مثل الأرض.

الأرض كانت أصلًا ساخنة جدًا وبلا أي غلاف جوّي. وبمرور الوقت بردت واكتسبت غلافًا جويًا من انبعاث الغازات من الصخور. وهذا الغلاف الجوي المبكِّر لم يكن مما يمكننا البقاء فيه. فهو لا يحتوي على أوكسجين، وإنما يحوي الكثير من الغازات الأخرى السامة، مثل كبريتيد الهيدروجين (الغاز الذي يعطي للبيض العفن رائحته). على أن ثمَّة أشكالًا أخرى من الحياة البدائية يمكن أن تزدهر في ظروف كهذه. ومن المعتقد أنها قد نشأت في المحيطات، ربما كنتيجة لاتحاد الذرات مصادفة في بنيات أكبر، تسمَّى الجزيئات الكبرى، لها القدرة على تجميع الذرات الأخرى في المحيط في بنيات مماثلة. وبهذا فإنها تكون قد نسخت نفسها وتكاثرت. تحدث في بعض الحالات أخطاء في التناسخ. وهذه الأخطاء هي في معظمها بحيث لا يستطيع

الجزيء الكبير الجديد أن ينسخ نفسه وفي النهاية فإنه يتدمر. إلا أن القليل من هذه الأخطاء تنتج عنه جزيئات كبيرة جديدة أفضل في نسخ ذاتها. وبهذا فإنها تكون لها أفضلية وتنزع إلى أن تحل محل الجزيئات الكبيرة الأصلية. وبهذه الطريقة تبدأ عملية تطوُّر تؤدِّي إلى نشأة كائنات ناسخة لذاتها هي أكثر وأكثر تعقدًا. تستهلك الأشكال البدائية الأولى للحياة مواد شتى بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين، وتطلق الأوكسجين. ويغيِّر هذا تدريجيًا من الغلاف الجوى ليصل إلى التركيب الذي هو عليه اليوم، فيسمح بنشأة الأشكال الأعلى من الحياة مثل السمك، والزواحف، والثدييات، وفي النهاية الجنس البشري.

هذه الصورة للكون الذي يبدأ ساخنًا جدًا ثم يبرد، وهو يتمدَّد تتفق مع كل دليل المشاهدات الذي لدينا في وقتنا هذا. ومع كل هذا، فإنها تخلف عددًا من الأسئلة المهمة بلا جواب.

(1) لماذا كان الكون المبكِّر ساخنًا للغاية؟

(2) لماذا يكون الكون متسقًا للغاية على المقياس الكبير؟ لماذا يبدو متماثلًا من كل نقاط المكان وفي كل الاتجاهات ولماذا بالذات، تكون حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية متماثلة تقريبًا عندما ننظر من الاتجاهات المختلفة؟ والأمر يبدو نوعًا وكأنه توجيه أسئلة امتحان لعدد من الطلبة. فلو أنهم جميعًا أجابوا الإجابة نفسها بالضبط، فإنه يمكنك أن تتأكَّد إلى حد كبير من انهم قد أتصلوا ببعضهم بعضًا. على أنه في المثال الذي وُصف أعلاه،

لن يكون ثمَّة وقت كافٍ منذ الانفجار الكبير لأن يصل الضوء من منطقة بعيدة إلى أخرى، حتى ولو كانت المناطق في الكون المبكر قريبة معًا. حسب نظرية النسبية، إذا كان الضوء لا يستطيع الوصول من منطقة إلى أخرى، فما من معلومة أخرى ستتمكن من ذلك. وهكذا لن تكون ثمَّة طريقة يمكن بها للمناطق المختلفة من الكون المبكر أن تصل إلى أن تكون لإحداها حرارة الأخرى إلا إذا اتفق لسبب غير مفهوم أنها بدأت أولًا بالحرارة نفسها.

(3) لماذا بدأ الكون وله تقريبًا معدَّل التمدد الحرج نفسه الذي يفصل الأنماط التي تتقلَّص ثانية عن تلك التي تواصل التمدد للأبد، بحيث إنه حتى في وقتنا هذا، وبعد مضي عشرة آلاف مليون سنة، ما زال يتمدَّد بمعدل التمدد الحرج تقريبًا؟ لو كان معدل التمدد بعد ثانية واحدة من الانفجار الكبير أصغر حتى بجزء واحد من مائة ألف مليون مليون، لكان الكون قد تقلَّص ثانية قبل أن يصل إلى حجمه الحالي.

(4) رغم أن الكون - بالمقياس الكبير - جد متَّسق ومتجانس، إلا أنه يحوي أوجه عدم انتظام على النطاق المحلي، مثل النجوم والمجرات. ومن المعتقد أن هذه قد نشأت عن اختلافات صغيرة في كثافة الكون المبكر من منطقة لأخرى. ما أصل هذه التراوحات في الكثافة؟

نظرية النسبية العامة، بذاتها، لا تستطيع تفسير هذه الخصائص، أو أن تجيب عن هذه الأسئلة وذلك لأنها تتنبأ بأن الكون بدأ

بكثافة لا متناهية عند متفرِّدة الانفجار الكبير. المتفرِّدة تنهار عندها النسبية العامة وكل القوانين الفيزيائية الأخرى: فلا يستطيع المرء أن يتنبَّأ بما سينتج عن المتفرِّدة. وكما سبق شرحه، فإن هذا يعني أن المرء يستطيع أيضًا أن يحذف الانفجار الكبير، وأي أحداث من قبله، خارج النظرية، لأنها لا يمكن أن يكون لها تأثير على ما تشاهده. و«سيكون» للمكان - الزمان حد (أي بداية) عند الانفجار الكبير.

يبدو أن العلم قد أزاح الغطاء عن مجموعة من القوانين تخبرنا، في نطاق الحدود التي يضعها مبدأ الريبة، عن الطريقة التي سيتطوَّر بها الكون بمضي الزمن، لو عرفنا حالتها في أي وقت بعينه. هذه القوانين ربما كانت أصلًا صادرة عن الرب، إلا أنه يبدو وكأنه بعدها ترك الكون ليتطوَّر حسب هذه القوانين ولم يعد يتدخَّل الآن فيه، ولكن كيف اختار الرب الحالة الابتدائية أو الشكل الابتدائي للكون؟ ماذا كانت «الشروط الحَدّية» عند بدء الزمان؟

إحدى الإجابات الممكنة هي القول بأن الرب أختار الشكل الابتدائي لأسباب لا يمكننا أن نأمل في فهمها. ومن المؤكَّد أن هذا أمر يدخل في نطاق سلطة كائن له قدرة مطلقة، ولكن إذا كانت القدرة المطلقة قد بدأت الأمر بطريقة غير مفهومة هكذا، لماذا اختارت أن تترك الأمر يتطوَّر حسب قوانين نستطيع أن نفهمها؟

ظل هدف العلم على مدى تاريخه كله هو التحقُّق تدريجيًا

من أن الأحداث لا تحدث اعتباطيا، ولكنها تعكس نظامًا معينًا في الأساس، قد يكون، أو قد لا يكون، ملهمًا ربانيًا. سيكون من الطبيعي لا غير افتراض أن هذا النظام ينبغي أن ينطبق، ليس فحسب على القوانين، وإنما ينطبق أيضًا على شروط حد المكان - الزمان التي تعيِّن الحالة الابتدائية للكون. قد يكون ثمَّة عدد كبير من نماذج للكون لها ظروف ابتدائية مختلفة كلها تخضع للقوانين. ينبغي أن يكون ثمَّة مبدأ ما ينتخب حالة ابتدائية واحدة وبالتالي نموذجًا واحدًا، ليمثل كوننا.

وأحد هذه الاحتمالات هو ما يسمَّى الشروط الحَدّية الفوضوية. وتفترض هذه ضمنيًا أن الكون إما أنه لا متناهٍ مكانيًا أو أن هناك أكوانًا كثيرة بما لا نهاية له. وحسب الشروط الحدية الفوضوية فإن احتمال العثور على أي منطقة بالذات في المكان في أي شكل بعينه بعد الانفجار الكبير مباشرة لهو احتمال يماثل، بمعنى ما، احتمال العثور عليه في أي شكل آخر: فالحالة الابتدائية للكون يتم اختيارها على نحو عشوائي محض. ويعني هذا أن الكون المبكِّر قد يكون، في ما يُحتمل، في حالة شديدة من الفوضى وعدم الانتظام، لأن الأشكال الفوضوية غير المنتظمة للكون هي أكثر كثيرًا مما تكون له من أشكال مستوية منتظمة. (وإذا كان لكل شكل احتمال متساوٍ، فإن من المحتمل أن الكون قد بدأ في حالة من الفوضى وعدم الانتظام، وذلك ببساطة لأن عدد هذه الأشكال أكثر كثيرًا). ومن الصعب أن يرى المرء كيف

أن مثل هذه الظروف الابتدائية الفوضوية يمكن أن ينشأ عنها كون مستوٍ منتظم بالمقياس الكبير بمثل ما هو عليه كوننا في الوقت الحالي. وسيتوقَّع المرء أيضًا أن تراوحات الكثافة في نموذج كهذا ستؤدِّي إلى تكوين ثقوب سوداء بدائية أكثر بكثير من الحد الأقصى الذي تفرضه مشاهدات خلفية أشعة جاما.

لو كان الكون حقًا لا متناهيًا في المكان، أو لو كان ثمَّة أكوان كثيرة بما لا نهاية له، فسيكون هناك في ما يحتمل بعض مناطق كبيرة في مكان ما قد بدأت بأسلوب مستوٍ متسق. الأمر يشبه نوعًا ما حشد القرود المشهور الذي يدق على آلات كاتبة، فسوف يكون معظم ما يكتبونه هراء، ولكنهم في أحوال نادرة جدًا وبالمصادفة المحضة سيطبعون إحدى سوناتات شكسبير. فهل يمكن أننا بالمثل، في حالة الكون، نعيش في منطقة يتفق بالمصادفة فحسب أنها مستوية ومتسقة؟ للوهلة الأولى قد يبدو هذا من غير المحتمل إلى حدٍّ بالغ، لأن المناطق الفوضوية وغير المنتظمة ستفوق في العدد المناطق المستوية تفوقًا هائلًا. على أي حال، لنفترض أنه قد تم في المناطق المستوية وحدها تكوين المجرات والنجوم وأن الظروف فيها وحدها كانت ملائمة لنشأة الكائنات المعقَّدة الناسخة لذاتها مثلنا، والتي لها القدرة على توجيه سؤال: لماذا يكون الكون مستويًا جدًا هكذا؟ إن هذا يشبه تطبيق ما يُعرف بالمبدأ الإنساني Anthropic principle، الذي يمكن إعادة صياغته كالتالي: «إننا نرى الكون بما هو عليه لأننا موجودون».

ثمَّة نوعان من المبدأ الإنساني، هما الضعيف والقوي. والمبدأ

الإنساني الضعيف يقرر أنه في كون كبير أو لا متناهٍ في المكان/ أو الزمان فإن الشروط الضرورية لنشأة حياة ذكية لا يتم الوفاء بها إلا في مناطق معينة، تكون محدودة المكان والزمان. والكائنات الذكية في هذه المناطق ينبغي إذن ألّا تفاجأ لو لاحظت أن موضعها في الكون يفي بالشروط الضرورية لوجودها. والأمر يشبه - نوعًا - رجلًا غنيًا يعيش وسط جيران أثرياء فلا يرى أيّ فقر.

أحد أمثلة استخدام المبدأ الإنساني الضعيف هو «تفسير» السبب في أن الانفجار الكبير قد وقع منذ ما يقرب من عشرة آلاف مليون سنة، (الأمر يستغرق ما يقارب ذلك لتطوير كائنات ذكية) وكما شُرح أعلاه، فإنه يجب أن يتكوَّن أولًا جيل مبكر من النجوم. ثم تحوِّل هذه النجوم بعض الهيدروجين والهيليوم الأصليين إلى عناصر مثل الكربون والأوكسجين، التي نُصنع نحن منها. ثم تنفجر النجوم إلى سوبر نوفات، وتمضي البقايا لتكوِّن نجومًا وكواكب أخرى، من بينها تلك التي في مجموعتنا الشمسية، التي يبلغ عمرها ما يقرب من خمسة آلاف مليون سنة. أول ألف أو ألفي مليون سنة من وجود أرضنا كانت أسخن من أن تسمح بنشأة أي شيء معقَّد. استغرق ما بقيَ من الثلاثة آلاف مليون سنة، أو ما يقرب من ذلك في عملية التطور البيولوجي البطيئة، التي بدأت بأبسط الكائنات لتؤدِّي إلى كائنات لها القدرة على قياس الزمن رجوعًا إلى الوراء حتى الانفجار الكبير.

المبدأ الإنساني الضعيف لن ينازع في صحته أو نفعه إلا قلة من الأفراد. على أن هناك من يذهبون إلى مدى أبعد كثيرًا، فيطرحون نوعًا قويًا لهذا المبدأ. وحسب هذه النظرية، فإنه إما أن هناك أكوانًا كثيرة مختلفة أو أن هناك مناطق كثيرة مختلفة في كون واحد، كل منها له شكله الابتدائي الخاص به، وربما يكون له مجموعة قوانينه العلمية الخاصة به. في معظم هذه الأكوان ستكون الظروف غير ملائمة لنشأة كائنات معقَّدة؛ ولن ينشأ، إلا في أكوان قليلة مثل كوننا، كائنات ذكية تسأل: «لماذا يكون الكون بالطريقة التي نراه عليها؟». وستكون الإجابة وقتها بسيطة: لو كان الكون مختلفًا لما كنَّا هنا!

إن قوانين العلم كما نعرفها حاليًا، تحوي أرقامًا كثيرة أساسية، مثل حجم الشحنة الكهربائية للإلكترون، ونسبة كتلتَيْ البروتون والإلكترون. نحن لا نستطيع، على الأقل في لحظتنا هذه، أن نتنبَّأ بقيمة هذه الأرقام من النظرية، وإنما يجب أن نجدها بالمشاهدة. ولعلنا سنكتشف ذات يوم نظرية كاملة موحَّدة تتنبأ بها كلها، ولكن من المحتمل أيضًا أنها كلها أو بعضها تختلف من كون إلى كون أو داخل الكون الواحد. والحقيقة البارزة أنه يبدو أن قِيَم هذه الأرقام قد ضُبطت ضبطًا دقيقًا جدًا لتجعل نشأة الحياة ممكنة. وكمثال، فلو أن الشحنة الكهربائية للإلكترون كانت تختلف فقط اختلافًا هيِّنًا، لما أمكن للنجوم أن تحرق الهيدروجين والهليوم، أو أنها ما كانت بالتالي ستنفجر. وبالطبع، فقد تكون ثمَّة أشكال أخرى

من الحياة الذكية، لا يحلم بها حتى كتَّاب الروايات العلمية، ولا تتطلَّب نور نجم كالشمس أو العناصر الكيماوية الأثقل التي تُصنع في النجوم ويُقذف بها ثانية في الفضاء عندما تنفجر النجوم. ورغم هذا، إلا أنه يبدو واضحًا أن هناك - نسبيًا - عددًا قليلًا من مدى قيم الأرقام التي تسمح بنشأة أي شكل للحياة الذكية. ومعظم مجموعات القيم تؤدِّي إلى نشأة أكوان - وإن كان يمكن أن تكون جميلة جدًا - لن تحوي أحدًا قادرًا على الإعجاب بهذا الجمال. وللمرء أن يتخذ ذلك إما على أنه دليل على وجود هدف ربَّاني في الخلق واختيار قوانين العلم، أو أن يتخذ ذلك كدعم للمبدأ الإنساني القوي.

ثمَّة عدد من الاعتراضات التي يمكن أن تُقام ضد المبدأ الإنساني القوي بصفته تفسيرًا لحالة الكون المشاهَدة. فأولًا، بأي معنى يمكن القول بوجود كل هذه الأكوان المختلفة؟ لو أنها حقًا منفصلة أحدها عن الآخر، فإن ما يحدث في كون آخر لا يمكن أن تكون له نتائج قابلة للمشاهدة في كوننا نحن. وينبغي إذن استخدام مبدأ الاقتصاد فنحذفها من النظرية. ومن الناحية الأخرى، فلو أنها كانت مناطق مختلفة من كون واحد فحسب، فإن قوانين العلم يلزم أن تكون متماثلة في كل منطقة، وإلا لما استطاع المرء أن يتحرَّك حركة متصلة من منطقة لأخرى. وفي هذه الحالة فإن الفارق الوحيد بين المناطق سيكون في شكلها الابتدائي، وهكذا فإن المبدأ الإنساني القوي سيُختزل إلى المبدأ الضعيف.

الاعتراض الثاني على المبدأ الإنساني القوي هو أنه يجري في اتجاه مضاد لاتجاه المَدّ في كل تاريخ العلم. لقد نمَوْنا من كونيات بطليموس وسابقيه ذات المركز الأرضي، ثم من خلال الكونيات ذات المركز الشمسي عند كوبرنيكوس وجاليليو، حتى الصورة الحديثة حيث الأرض كوكب ذو حجم وسيط يدور حول نجم متوسط في الضواحي الخارجية لمجرة لولبية عادية، هي نفسها مجرد مجرة واحدة من عدد من المجرات يقارب مليون المليون في ما يمكن رصده من الكون. إلا أن المبدأ الإنساني القوي يزعم ببساطة أن هذا البناء الهائل كله إنما يوجد من أجلنا. ومن الصعب جدًا الإيمان بذلك. من المؤكد أن نظامنا الشمسي هو شرط مسبق لوجودنا، ويمكن للمرء أن يوسِّع هذا الشرط إلى مجرتنا بالكامل لإتاحة جيل نجوم أكثر تبكيرًا ويخلق العناصر الثقيلة. ولكن يبدو أنه ما من حاجة لأن تكون كل تلك المجرات الأخرى والكون، جد متسقة ومتماثلة هكذا في كل اتجاه على المقياس الكبير.

وسوف يزيد ما يشعر المرء به من سعادة بشأن المبدأ الإنساني، على الأقل في نوعه الضعيف، لو أمكن للمرء أن يبين أنّ عددًا كبيرًا من أشكال الكون المختلفة كان يمكن أن يتطوَّر لإنتاج كون مثل الكون الذي نشهده. لو كان هذا هو الحال، فإن كونًا ينشأ من ظروف ما ابتدائية عشوائية لينبغي أن يحوي عددًا من المناطق التي تكون مستوية ومتسقة وملائمة لتطوير حياة ذكية. من الناحية الأخرى فلو كانت الحالة الابتدائية للكون مما يلزم أن يتم

اختياره - بحرص بالغ - لتؤدي إلى شيء ما يشبه ما نراه حولنا، فسيكون من غير المحتمل أن يحوي الكون «أيّ» منطقة ستظهر فيها الحياة. في نموذج الانفجار الكبير الساخن الذي وُصف أعلاه، لم يكن ثمَّة وقت كافٍ للكون المبكر لتسري الحرارة من منطقة إلى أخرى. ويعني هذا أن الحالة الابتدائية للكون يلزم أن تكون الحرارة متساوية في كل مكان بالضبط، حتى يمكن تفسير حقيقة أن الخلفية الميكروويفية لها الحرارة نفسها في كل اتجاه ننظر إليه. كما أن السرعة الابتدائية للتمدد يجب أن يتم اختيارها اختيارًا مضبوطًا جدًا حتى تظل سرعة التمدد قريبة جدًا من المعدل الحرج اللازم لتجنُّب التقلص ثانية. ويعني هذا أن الحالة الابتدائية للكون يجب أن تكون قد تم اختيارها بحرص بالغ حقًا لو كان نموذج الانفجار الكبير الساخن صحيحًا إذا عدنا إلى بدء الزمان مباشرة. وسيكون من الصعوبة البالغة تفسير السبب في أنه ينبغي أن يبدأ الكون بهذه الطريقة بالضبط إلا كفعل من الرب الذي يقصد خلق كائنات مثلنا.

في محاولة للعثور على نموذج للكون حيث يمكن لأشكال ابتدائية مختلفة أن تتطوَّر إلى شيء ما يشبه الكون الحالي، اقترح آلان جوث، أحد علماء معهد التكنولوجيا بماساتشوستس، أن الكون المبكر ربما قد مرَّ بفترة تمدد سريع جدًا، ويقال عن هذا التمدد إنه «تضخّمي»، بمعنى أن الكون كان في وقت ما يتمدَّد بسرعة متزايدة بدلًا من السرعة المتناقصة التي يتمدَّد بها في وقتنا

الحالي. وحسب جوث، فإن نصف قطر الكون زاد بمليون مليون مليون مليون مليون ضعف (1 يعقبه ثلاثون صفرًا) في ما لا يزيد على جزء ضئيل من الثانية.

يقترح جوث أن الكون بدأ من الانفجار الكبير وهو في حالة ساخنة جدًا وإن كانت حالة فوضوية نوعًا. ودرجات الحرارة العالية هذه تعني أن الجُسَيْمات التي في الكون ستتحرَّك سريعًا جدًا وستكون لها طاقات كبيرة. وكما ناقشنا من قبل، فإن المرء يتوقَّع أنه عند درجات الحرارة العالية كهذه ستكون القوى النووية الضعيفة والقوية والقوة الكهرومغناطيسية كلها موحَّدة في قوة واحدة. وإذ يتمدَّد الكون فإنه يبرد، وتقلّ طاقة الجسيمات. وفي النهاية سيكون هناك ما يسمَّى طور التحول وينكسر ما بين القوى من تناظر: فتصبح القوة القوية مختلفة عن القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية. أحد الأمثلة الشائعة لحالة من طور التحول هو تجمُّد الماء عندما تبرِّده. والماء السائل متناظر، فهو متماثل عند كل نقطة وفي كل اتجاه. على أنه عندما تتكوَّن بلورات الثلج تصبح لها أوضاع معينة وتصطف في اتجاه ما. وهذا يكسر تناظر الماء.

في حالة الماء، يستطيع المرء، عندما يكون حريصًا، أن يبرده «تبريدًا فائقًا» أي أن المرء يستطيع خفض حرارته إلى ما تحت نقطة التجمُّد (درجة الصفر المئوي) ومن دون أن يتكوَّن الثلج. وقد اقترح جوث أن الكون ربما يسلك على نحو مماثل: فالحرارة

قد تهبط لأقل من القيمة الحرجة من دون أن ينكسر ما بين القوى من تناظر. إذا حدث هذا، فإن الكون سيصبح في حالة غير مستقرة، وفيه طاقة أكبر مما لو كان التناظر قد انكسر. هذه الطاقة الخاصة الإضافية يمكن أن يُبيَّن أن لها تأثيرًا مضادًا للجاذبية: فسيكون لها مفعول يشبه تمامًا الثابت الكوني الذي أدخله آينشتاين إلى النسبية العامة عندما كان يحاول بناء نموذج استاتيكي للكون. وحيث إن الكون سيكون في حالة تمدّد من قبل، تمامًا مثل ما في نموذج الانفجار الكبير الساخن، فإن المفعول التنافري لهذا الثابت الكوني سيجعل الكون إذن يتمدَّد بسرعة تتزايد أبدًا. وحتى في المناطق التي تكون جسيمات المادة فيها أكثر من المتوسط، فإن شَدّ جاذبية المادة سيتفوَّق عليه مفعول هذا الثابت الكوني التنافري. وهكذا فإن هذه المناطق ستتمدَّد أيضًا على نحو تضخّميّ متزايد السرعة. وإذ هي تتمدَّد ويزداد تباعد الجسيمات، فإن المرء سيجد كونًا متمدِّدًا يحوي بالكاد أي جسيمات وما زال في حالة البرودة الفائقة. وأي أوجه عدم انتظام في الكون ستتم ببساطة تسويتها بالتمدد، مثلما تُسوَّى تجعُّدات البالون المطاطي عندما يُملأ بالهواء. وهكذا فإن حالة الكون الحالية من استواء واتساق يمكن أن تتطوَّر من حالات ابتدائية كثيرة مختلفة وغير متسقة.

وفي كون كهذا، حيث سرعة التمدد تتزايد بثابت كوني بدلًا من أن تتناقص بشد جاذبية المادة، فإنه سيكون هناك وقت

كاف لأن ينتقل الضوء من منطقة إلى أخرى في الكون المبكِّر. وهذا يمكن أن يمدنا بحل المشكلة التي سبق إثارتها، لم تحمل المناطق المختلفة في الكون المبكر الخصائص نفسها. وفوق ذلك فإن معدل تمدد الكون سيصبح أوتوماتيكيًا قريبًا جدًا من المعدل الحرج الذي تحدده كثافة طاقة الكون. وهذا يمكن أن يفسِّر السبب في أن معدل تمدُّد الكون يظل قريبًا جدًا من المعدل الحرج، من دون الحاجة إلى افتراض أن سرعة التمدد الابتدائية قد اختيرت بحرص بالغ.

فكرة التضخم يمكن أيضًا أن تفسِّر سبب كثرة وجود المادة هكذا في الكون. فهناك ما يكاد يبلغ عشرة مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون جسيم (1 يعقبه ثمانون صفرًا) في منطقة الكون التي يمكننا رصدها. من أين أتت كلها؟ والإجابة أنه، في نظرية الكم، يمكن خلق الجسيمات من الطاقة في شكل أزواج من الجسيم/ مضاد الجسيم. ولكن هذا بالضبط يثير التساؤل عن المصدر الذي أتت منه الطاقة. والإجابة هي أن الطاقة الكلية للكون تساوي بالضبط صفرًا. والمادة في الكون مصنوعة من طاقة إيجابية. إلا أن المادة كلها تجذب نفسها بالجاذبية. وجزءا المادة اللذان يكونان قريبين أحدهما من الآخر تكون لهما طاقة أقل مما للجزءين نفسيهما عندما يتباعدان لمسافة كبيرة، لأنه سيكون عليك أن تبذل طاقة لفصلهما ضد قوى الجاذبية التي تشدهما معًا. وهكذا، فبمعنى

ما، تكون لمجال قوة الجاذبية طاقة سالبة. وفي حالة الكون الذي يكون على وجه التقريب متسقًا في المكان، يمكن للمرء أن يبين أن طاقة الجاذبية السالبة هذه تلغي بالضبط الطاقة الموجبة التي تمثلها المادة. وهكذا فإن الطاقة الكلية للكون تساوي صفرًا.

ولأن ضعف الصفر صفرٌ أيضًا. يمكن للكون أن يضاعف كمية طاقة المادة الموجبة ويضاعف أيضًا طاقة الجاذبية السالبة من دون أن ينتهك بقاء الطاقة. ولا يحدث هذا في حالة التمدد الطبيعي للكون حيث تقل كثافة طاقة المادة بزيادة حجم الكون. على أن هذا يحدث فعلًا في التمدد التضخّمي، لأن كثافة الطاقة للحالة فائقة التبريد تظل ثابتة أثناء تمدّد الكون: وعندما يتضاعف حجم الكون، فإن طاقة المادة الموجبة هي وطاقة الجاذبية السالبة كلتَيهما يتضاعف وهكذا تظل الطاقة الكلية صفرًا. والكون أثناء الطور التضخّمي يزيد من حجمه بقدر كبير جدًا. وبالتالي فإن الكمية الكلية للطاقة المتاحة لصنع الجسيمات تصبح كبيرة جدًا. وكما يذكر جوث: «يُقال إنه لا وجود لوجبة غذاء مجانية. ولكن الكون هو الغذاء المجاني النهائي».

الكون في وقتنا الحاضر لا يتمدَّد على نحو تضخّمى. وهكذا فإن هناك بالضرورة آلية ما للتخلص من الثابت الكوني البالغ الكبر والفعالية وبذا يتغير معدل التمدد من معدل متزايد إلى معدل يتم تقليله بالجاذبية، كما هو الحال لدينا حاليًا. في التمدد التضخمى قد يتوقع المرء أن ما بين القوى من تناظر سينكسر في النهاية،

تماما مثلما يحدث للماء الفائق التبريد ان يتجمد دائمًا في النهاية. وعندها فإن الطاقة الإضافية لحالة التناظر غير المنكسر ستنطلق وتعيد تسخين الكون إلى درجة حرارة هي بالضبط أقل من درجة الحرارة الحرجة للتناظر بين القوى. وعندها فإن الكون سيواصل التمدد والبرودة تمامًا مثل نموذج الانفجار الكبير الساخن، ولكن سيكون هناك الآن تفسير للسبب في أن الكون يتمدَّد بالضبط بالسرعة الحرجة، والسبب في أن المناطق المختلفة لها درجة الحرارة نفسها.

يقول فرض جوث الأصلي، إن طور التحوُّل يقع فجأة، بما يكاد يشبه ظهور بلورات الثلج في الماء البارد جدًا. الفكرة هي أن «فقاعات» من الطور الجديد ذي التناظر المكسور ستتكوَّن من داخل الطور القديم، مثل فقَّاعات البخار المحاطة بماء يغلي. من المفترض أن الفقاعات كانت سوف تتمدَّد وتندمج إحداها بالأخرى حتى يصبح الكون كله في الطور الجديد. والمشكلة كما بينتها أنا وعديدون غيرى، هي أن الكون كان يتمدَّد بسرعة كبيرة لدرجة أنه حتى لو كانت الفقاعات تنمو بسرعة الضوء، فإنها ستبتعد إحداها عن الأخرى، وهكذا لا تستطيع أن تنضم معًا. وسيُخلف الكون في حالة بالغة من عدم الاتساق، مع وجود بعض مناطق يظل بها تناظر بين القوى المختلفة. ومثل هذا النموذج للكون لا يطابق ما نراه.

في أكتوبر من عام 1981، ذهبت إلى موسكو لحضور مؤتمر

عن جاذبية الكم. وبعد المؤتمر ألقيت كلمة في ندوة عن النموذج التضخمي ومشكلاته في معهد سترتبرج الفلكي. وكنت قبل ذلك، قد جئت بشخص آخر ليلقي محاضراتي نيابة عني، لأن معظم الناس لا يمكنهم فهم صوتي. على أنه لم يكن هناك وقت للإعداد لهذه الندوة، فألقيت كلمتي بنفسي، بينما كان أحد طلابي الجامعيين يكرِّر كلماتي بعدي. وقد أوفى ذلك بالغرض جيدًا، وأعطاني تواصلًا أكثر كثيرًا بمستمعي. وكان بين المستمعين شاب روسي، يُدعى أندرى لنده Andrei Linde من معهد ليبيديف في موسكو، وقال إن مشكلة عدم انضمام الفقاعات معًا يمكن تجنبها لو أن الفقاعات كانت من الكبر بحيث تكون منطقتنا من الكون محتواة كلها داخل فقاعة واحدة. حتى تكون هذه الفكرة صالحة، فإن التغير من التناظر إلى التناظر المكسور لا بد أن يحدث داخل الفقاعة ببطء شديد، ولكن هذا ممكن تمامًا حسب النظريات الموحَّدة العظمى. وكانت فكرة لنده عن التكسُّر البطيء للتناظر فكرة جيدة جدًا، ولكني تبيَّنتُ في ما بعد أن فقاعاته لا بد أن يكون لها حجم أكبر من حجم الكون وقتها! وبيَّنتُ أنه بدلًا من ذلك فإن التناظر ينكسر في كل مكان في الوقت نفسه، أَوْلَى من أن يحدث ذلك داخل الفقاعات فحسب. سيؤدي هذا إلى كون متسق كما نشهده. وانفعلت جدًا بهذه الفكرة وناقشتها مع أحد طلبتي، وهو أيان موس. إلا أنني - كصديق للنده - تملَّكني الحرج نوعًا ما، عندما أُرسلت لي بعدها ورقة بحثه بواسطة مجلة علمية وسُئلت إذا ما كانت صالحة للنشر. وأجبت بأن فيها ذلك

الخطأ القائل إن الفقاقيع ستكون أكبر من الكون، إلا أن الفكرة الأساسية للكسر البطيء للتناظر هي فكرة جيدة جدًا. وأوصيت أن تُنشر الورقة كما هى، لأن تصحيحها سيستغرق من لنده شهورًا عديدة، حيث إن كل ما يُرسل إلى الغرب يجب أن تمرِّره الرقابة السوفياتية، وهي رقابة ليست جد بارعة ولا جد سريعة في ما يختص بأوراق البحث العلمية. وكتبت بدلًا من ذلك ورقة بحث قصيرة مع أيان موس في المجلة نفسها بينًّا فيها مشكلة الفقاعة هذه وكيف يمكن حلها.

في اليوم التالي لعودتي من موسكو، شرعت في التحضير للسفر إلى فيلادلفيا، حيث كان قد حان استلامي لميدالية من معهد فرانكلين. وقد استخدمت سكرتيرتي جودي، كل ما لها من سحر غير قليل، لحث الخطوط الجوية البريطانية على منحنا مقاعد مجانية على طائرة كونكورد كمساهمة دعائية. على أني حُجزت في طريقي للمطار بوابل مطر ثقيل وتخلَّفت عن الطائرة. لكني وصلت في النهاية إلى فيلادلفيا وتلقَّيت ميداليتي. ثم سُئلت بعدها أن ألقي كلمة في ندوة عن الكون المتضخِّم في جامعة دريكسل في فيلادلفيا. وألقيتُ الكلمة نفسها عن مشكلات الكون المتضخِّم، تمامًا كما في موسكو.

وبعد عدة شهور طرحت، بصورة مستقلة، فكرة مماثلة تمامًا لفكرة لنده وذلك بواسطة بول شتيهاردت وأندريساس ألبرخت من جامعة بنسلفانيا. والآن فإنهما ولنده يُعزى لهم جميعًا ما

يسمَّى «النموذج التضخّمي الجديد» الذي يتأسَّس على فكرة التكسير البطيء للتناظر. (النموذج التضخمى القديم هو اقتراح جوث الأصلى بالتكسير السريع للتناظر مع تكوّن الفقاعات).

كان النموذج التضخمي الجديد محاولة طيبة لتفسير لماذا يكون الكون على ما هو عليه. على أني مع العديدين غيري قد بينَّا أنه، على الأقل في شكله الأصلي، يتنبَّأ بتباينات في درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية أعظم كثيرًا مما يُرصد. كما أن البحث اللاحق قد ألقى الشك على إمكان وجود طور تحوُّل في الكون المبكر جدًا من النوع المطلوب. في رأيي الخاص، إن النموذج التضخمي الجديد كنظرية علمية قد مات الآن، وإن كان يبدو أن أناسًا كثيرين لم يسمعوا بوفاته وما زالوا يكتبون أوراق بحث وكأنه ما زال حيًّا. طرح لنده في عام 1983 نموذجًا أفضل يسمى النموذج التضخمي الفوضوي. وفيه لا يوجد طور تحوُّل أو تبريد فائق. وبدلًا من ذلك، فإن ثمَّة مجالًا من لف صفر، وبسبب تذبذبات الكم تكون قمته كبيرة في بعض المناطق من الكون المبكر. طاقة المجال في هذه المناطق ستسلك كثابت كوني. وسيكون لها مفعول منافر للجاذبية، وهكذا ستقوم تلك المناطق بالتمدُّد على نحو تضخمي. وإذ يحدث لها التمدد، فإن طاقة المجال فيها تقل ببطء حتى يتغيَّر التمدد التضخمي إلى تمدد من مثل ذلك النوع الذي في نموذج الانفجار الكبير الساخن. وتصبح إحدى هذه المناطق ما نراه الآن على أنه الكون القابل

للرصد. ولهذا النموذج كل مزايا النماذج التضخمية السابقة، ولكنه لا يعتمد على طور تحوُّل مشكوك في أمره، وفوق ذلك فإنه يمكن أن يعطى حجمًا معقولًا للتراوحات في درجة حرارة الخلفية الميكروويفية يتفق مع المشاهدة.

لقد بيَّن هذا البحث عن النماذج التضخّمية أن الوضع الحالي للكون هو مما قد ينشأ عن عدد كبير نوعًا ما من الأشكال الابتدائية المختلفة، وهذا أمر مهم، لأنه يبيِّن أن الحالة الابتدائية لجزء الكون الذي نسكنه لا يجب أن تكون منتقاة بحرص عظيم. وهكذا فإنه يمكننا، لو شئنا، أن نستخدم المبدأ الإنساني الضعيف لتفسير السبب في أن الكون يبدو بما هو عليه الآن. على أنه لا يمكن أن تكون الحال بحيث إن «كل» شكل ابتدائي سيؤدي إلى كون مثل الذي نشهده. ويمكن للمرء أن يبيِّن ذلك بالنظر إلى حالة للكون في وقتنا الحالي تكون مختلفة جدًا، كأن يكون الكون مثلًا بالغ الوعورة وعدم الانتظام. ويمكن أن يستخدم المرء قوانين العلم للرجوع، بتطوير الكون، إلى الوراء في الزمان لتحديد شكله في الأزمنة السابقة. وحسب مبرهنات المتفرِّدة في النسبية العامة الكلاسيكية فإنه ستظل هناك متفرِّدة الانفجار الكبير. ولو طوَّرت كونًا كهذا قدمًا في الزمان حسب قوانين العلم فسوف تنتهي إلى الحالة التي بدأت بها من وعورة وعدم انتظام. وهكذا يلزم أنه كانت ثمَّة أشكال ابتدائية لا تؤدِّي إلى نشأة كون مثل الكون الذي نراه في وقتنا الحالي. وهكذا فإنه حتى النماذج التضخمية لا تخبرنا عن

السبب في أن الشكل الابتدائي لم يكن لينتج شيئًا يختلف تمامًا عمَّا نشاهده. أفيجب أن نلتفت إلى المبدأ الإنساني طلبًا للتفسير؟ أكان الأمر كله مصادفة محظوظة؟ إن هذا يبدو كخطة من اليأس، وكنَفْيٍ لكل آمالنا في أن نفهم النظام الأساسي للكون.

حتى نتنبَّأ بما ينبغي أن يكون الكون قد بدأ به، فإن المرء يحتاج إلى قوانين تصلح لبداية الزمان. لو كانت نظرية النسبية العامة صحيحة، فإن مبرهنات المتفرِّدة التي برهن عليها روجر بنروز وإياي تبيِّن أن بداية الزمان تكون نقطة كثافة لا متناهية وانحناء لا متناهٍ للمكان - الزمان. كل قوانين العلم المعروفة تنهار عند نقطة كهذه. للمرء أن يفترض أن هناك قوانين جديدة تصلح للمتفرِّدات، ولكن سيكون من الصعب جدًا أن نصوغ حتى مثل هذه القوانين عند نقط سيئة السلوك هكذا، ولن يكون لدينا مرشد من المشاهدات لما قد تكون عليه هذه القوانين. على أن ما تدل عليه حقًا مبرهنات المتفرِّدة هو أن مجال الجاذبية يصبح من القوة بحيث إن تأثيرات الكم الجاذبية تصبح مهمة: ولا تعود النظرية الكلاسيكية بعد توصيفًا جيدًا للكون. وهكذا يصبح على المرء أن يستخدم نظرية كَمّ للجاذبية لمناقشة أحوال الكون المبكرة جدًا. وكما سوف نرى، فإن من الممكن لنظرية الكم لقوانين العلم العادية أن تصلح في أي مجال، بما في ذلك عند بداية الزمان: ولا يصبح من الضروري افتراض قوانين جديدة للمتفرِّدات، لأنه ما من حاجة لوجود أي متفرِّدات في نظرية الكم.

ليس لدينا بعدُ نظرية كاملة متماسكة تجمع ميكانيكا الكم والجاذبية. على أننا واثقون نوعًا من بعض الملامح التي ينبغي أن تكون لمثل هذه النظرية الموحَّدة. فأولًا ينبغي أن تتضمَّن فرض فينمان لصياغة نظرية الكم بلغة من حاصل جمع التواريخ. وفي هذا التناول لا يكون للجسم الواحد تاريخ واحد فقط كما في النظرية الكلاسيكية. وبدلًا من ذلك، يُفترض أنه يتبع كل مسار ممكن في المكان - الزمان، وفي كل من هذه التواريخ يكون مصحوبًا بزوج من الأرقام، أحدهما يمثِّل حجم موجة والآخر يمثِّل وضعه في الدورة (طَوْره). احتمال أن الجسيم مثلًا، يمر من خلال نقطة معينة، يمكن إيجاده بحاصل جمع الموجات المصاحبة لكل تاريخ ممكن يمر من خلال هذه النقطة. على أنه عندما يحاول المرء بالفعل أداء عمليات الجمع هذه. فإنه تعترضه مشاكل تقنية بالغة الصعوبة. الطريقة الوحيدة للتحايل عليها هي الوصفة العجيبة التالية: يجب أن يجمع المرء موجات تواريخ الجسيم التي ليست في الزمان «الحقيقي» الذي نمارسه أنا وأنت وإنما تحدث في ما يسمَّى الزمان التخيلي. والزمان التخيلي قد يبدو كرواية علمية ولكنه في الحقيقة مفهوم رياضي معرَّف على وجه التحديد. وعندما نأخذ أي رقم عادي (أو «حقيقي») ونضربه في نفسه، فإن النتيجة تكون رقمًا موجبًا. (وكمثال، فإن 2 × 2 = 4، على أن (-2) × (-2) = 4 أيضًا). إلا أن هناك أرقامًا خاصة (تسمَّى تخيلية) تعطي أرقامًا سالبة عندما تُضرب في نفسها (العدد المسمَّى i، عندما يُضرب في نفسه يعطي -1، و2 (i)

مضروبة في نفسها تعطي -4 وهلم جرًا). ولتجنُّب الصعوبات التقنية في حاصل جمع تواريخ فينمان، يجب أن يستخدم المرء زمانًا تخيليًا. بمعنى، أنه لأغراض الحساب يجب أن يقيس المرء الزمان باستخدام أرقام تخيلية، بدلًا من الأرقام الحقيقية. ولهذا تأثير مثير للاهتمام على المكان - الزمان: فالتمييز بين الزمان والمكان يختفي تمامًا. والمكان - الزمان الذي تكون للأحداث فيه قيم تخيلية لإحداثيتي الزمان يُقال عنه إنه إقليدي، نسبة للإغريقي القديم إقليدس، الذي أسَّس دراسة هندسة الأسطح ذات البعدين. ما نسميه الآن المكان - الزمان الإقليدي يشابه ذلك كثيرًا في ما عدا أن له أربعة أبعاد بدلًا من اثنين. وفي المكان - الزمان الإقليدي لا يوجد فارق بين اتجاه الزمان والاتجاهات في المكان. ومن الناحية الأخرى، في المكان - الزمان الحقيقي، حيث تُعنون الأحداث بقيم عادية حقيقية لإحداثيتي الزمان، فإن من السهل معرفة الفارق، فاتجاه الزمان عند كل النقط يقع داخل مخروط الضوء، واتجاهات المكان تقع خارجه. وعلى أي حال، ففي ما يختص ميكانيكا الكم في الحياة اليومية، فإننا يمكن أن ننظر إلى استخدامنا للزمان التخيلي والمكان - الزمان الإقليدي كمجرد وسيلة (أو حيلة) رياضية لحساب الأجوبة عن المكان - الزمان الحقيقي.

الملمح الثاني الذي نعتقد أنه يجب أن يكون جزءًا من أي نظرية نهائية هو فكرة آينشتاين القائلة إن مجال الجاذبية يمثِّله

المكان - الزمان المنحني: فالجسيمات تحاول أن تتبع أقرب شيء للمسار المباشر في المكان المنحني، ولكن حيث إن المكان - الزمان ليس مسطَّحًا فإن مساراتها تبدو مقوَّسة، كما لو كان ذلك بواسطة مجال الجاذبية. عند تطبيق حاصل جمع فينمان للتواريخ على نظرة آينشتاين للجاذبية، فإن النظير المماثل لتاريخ أحد الجسيمات هو الآن المكان - الزمان المنحني الكامل، الذي يمثِّل تاريخ الكون كله. ولتجنب الصعوبات التقنية عند حساب حاصل جمع التواريخ بالفعل، فإن هذه الأمكنة - الأزمنة المنحنية ينبغي أن تؤخذ على أنها إقليدية. بمعنى، أن الزمان تخيلي ولا يمكن تمييزه عن الاتجاهات في المكان. ولحساب احتمال العثور على مكان - زمان حقيقي له خاصية ما معينة، كأن يبدو متماثلًا عند كل نقطة وفي كل اتجاه، فإن المرء يجمع الموجات المصاحبة لكل التواريخ التي لها تلك الخاصية.

في نظرية النسبية العامة الكلاسيكية، يوجد الكثير من الأمكنة - الأزمنة المنحنية المحتملة المختلفة، وكل منها يقابل حالة ابتدائية مختلفة من الكون. لو عرفنا الحالة الابتدائية لكوننا، فإننا سنعرف كل تاريخه. وبالمثل، في نظرية الكم للجاذبية، توجد للكون حالات كم كثيرة مختلفة محتملة. ومرة أخرى، لو عرفنا كيف سلكت الأمكنة - الأزمنة الإقليدية المنحنية في حاصل جمع التواريخ في الأزمنة المبكِّرة، فإننا سوف نعرف حالة الكم للكون.

في النظرية الكلاسيكية للجاذبية، التي تتأسَّس على المكان - الزمان الحقيقي، ليس هناك غير طريقتين محتملتين يمكن أن يسلك بهما الكون: إما أنه قد وُجد لزمن لا متناه، أو أنه له بداية عند متفرِّدة في وقت ما متناه في الماضي. ومن الناحية الأخرى فإنه في نظرية الكم للجاذبية، ينشأ احتمال ثالث. فحيث إن المرء يستخدم أمكنة - أزمنة إقليدية، حيث اتجاه الزمان هو على نفس الأساس مثل الاتجاهات في المكان، فإن من الممكن للمكان - الزمان أن يكون متناهيًا في مداه، ومع ذلك ليس له متفرِّدة تشكل حدًّا أي حرفًا. سيكون المكان - الزمان مثل سطح الأرض، إلا أن له بعدين آخرَين. سطح الأرض متناهٍ في مداه ولكنهليس له حد ولا حرف: ولو انطلقت مبحرًا في الغروب، فإنك لن تقع من على الحرف أو تصطدم بمتفرِّدة. (وأنا أعرف ذلك، لأني دُرت حول الأرض!).

وإذا كان المكان - الزمان الإقليدي يمتد إلى الوراء حتى زمان تخيلي لا متناه، أو أنه بدلًا من ذلك قد بدأ عند متفرِّدة في الزمان التخيلي، فستكون لدينا المشكلة نفسها كما في النظرية الكلاسيكية بشأن تعيين الحالة الابتدائية للكون: الرب قد يعرف كيف بدأ الكون، ولكننا لا نستطيع إعطاء أي سبب بعينه لتصور أنه قد بدأ بهذه الطريقة بدلًا من الأخرى. ومن الناحية الأخرى فإن نظرية الكم للجاذبية قد فتحت الطريق لاحتمال جديد، حيث لا يكون للمكان - الزمان حد وهكذا لا تكون ثمَّة حاجة لتعيين

السلوك عند هذا الحد. لن تكون ثمَّة متفرِّدة تنهار عندها القوانين العلمية ولن يكون ثمَّة حرف للمكان - الزمان، حيث يضطر المرء لتقديم التماس لرب أو لكتابة قانون ما جديد لوضع الشروط الحدية للمكان - الزمان. ويمكن للمرء أن يقول إن «الشرط الحدي للكون هو أنه ليس له حد». ويكون الكون مكتملًا في حد ذاته ولا يتأثَّر بأي شيء خارج ذاته. فهو موجود لا غير.

في مؤتمر الفاتيكان السابق ذكره طرحت لأول مرة اقتراح أن الزمان والمكان ربما يشكِّلان معًا سطحًا متناهيًا في حجمه ولكن ليس له أي حد أو حرف. على أن ورقة بحثي كانت رياضية نوعًا، وهكذا فإن تضميناتها عن دور الرب في خلق الكون لم تكن عمومًا مدرَكة وقتها (ولا حتى بالنسبة لي). حين عُقد مؤتمر الفاتيكان لم أكن أعرف طريقة استخدام فكرة «اللاحدية» لصنع تنبؤات عن الكون. على أني أمضيتُ الصيف التالي في جامعة كاليفورنيا، في سانتا باربرا. وهناك استنبطت أنا وزميلي وصديقي جيم هارتل الشروط التي يجب أن يفي بها الكون لو كان المكان - الزمان ليس له حد. وعندما عدت إلى كمبردج، واصلت هذا البحث مع اثنين من طلاب البحوث عندي وهما جوليان لوترل وجوناثان هاليول.

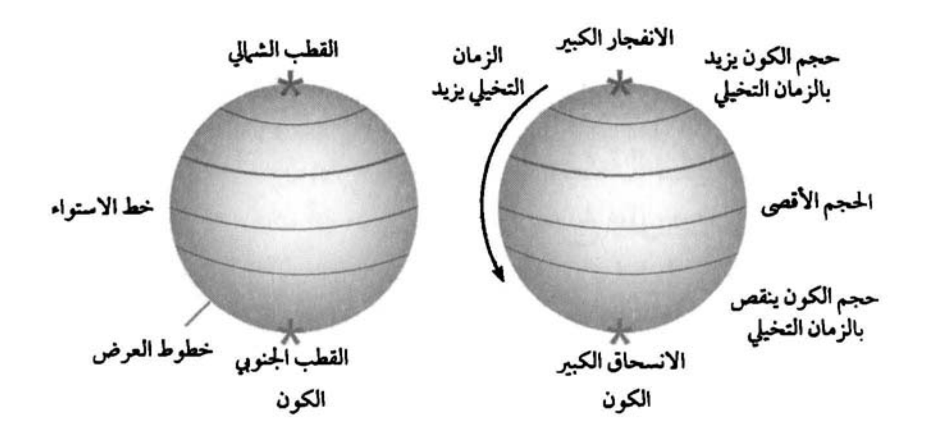
وأود أن أؤكِّد أن هذه الفكرة عن أن الزمان والمكان ينبغي أن يكونا متناهيين وبلا حد هي مجرد «افتراض»: فهي فكرة لا يمكن استنباطها من مبدأ آخر. ومثل أي نظرية علمية أخرى فإنها

يمكن طرحها، في البداية، لأسباب جمالية أو ميتافيزيقية، ولكن الاختبار الحقيقي لها هو ما إذا كانت تؤدِّي إلى تنبؤات تتفق مع المشاهدة. على أن هذا مما يصعب تقريره في حالة الكم الجاذبية، وذلك لسببين: الأول، كما سيتم شرحه في الفصل التالي، أننا لسنا حتى الآن متأكدين بالضبط بشأن أي النظريات العلمية هي التي سوف تجمع بنجاح النسبية العامة وميكانيكا الكم، وإن كنَّا نعرف الشيء الكثير، إلى حد ما، عن الشكل الذي يجب أن تكون عليه نظرية كهذه. والثاني، أن أي نموذج يصف الكون بأسره بالتفصيل سيكون رياضيًا معقدًا لنا للغاية بحيث لا نستطيع حساب تنبؤات مضبوطة. وعلى المرء إذن أن يصنع افتراضات وتقريبات مبسَّطة - وحتى بعد ذلك، فإن مشكلة استخلاص التنبؤات تظل مشكلة قوية.

كل تاريخ في حاصل جمع التواريخ لن يصف المكان - الزمان وحده وإنما أيضًا كل شيء في داخله، بما في ذلك أي كائنات معقَّدة مثل الكائنات البشرية التي تستطيع رصد تاريخ الكون. وقد يمد هذا بتبرير آخر للمبدأ الإنساني، وذلك أنه إذا كانت كل التواريخ ممكنة، فإننا - طالما أننا نوجد في أحد التواريخ نستطيع استخدام المبدأ الإنساني لتفسير السبب في أن الكون موجود كما هو عليه. ليس من الواضح بالضبط، أي معنى يمكن إضفائه على التواريخ الأخرى التي لا نوجد فيها. على أن هذه النظرة لنظرية كَمّ الجاذبية تكون مرضية إلى حدٍّ أكبر بكثير، إذا أمكن للمرء أن

يبيِّن أنه باستخدام حاصل جمع التواريخ، فإن كوننا ليس مجرَّد أحد التواريخ الممكنة ولكنه واحد من أكثر التواريخ احتمالًا. وللقيام بذلك، يجب أن نحسب حاصل جمع التواريخ لكل ما هو ممكن من الأمكنة - الأزمنة الإقليدية التي بلا حَدّ.

حسب فرض اللاحدية، يتعلَّم المرء أن فرصة أن نجد الكون يتبع معظم التواريخ الممكنة لهي فرصة جديرة بالإهمال، ولكن ثمَّة عائلة معينة من التواريخ تكون أكثر احتمالًا بكثير من التواريخ الأخرى. يمكن تصوير عائلة التواريخ هذه بأنها تشبه سطح الأرض، حيث المسافة من القطب الشمالي تمثِّل زمنًا تخيليًا وحجم الدائرة التي على مسافة ثابتة من القطب الشمالي تمثِّل الحجم المكاني للكون. والكون يبدأ عند القطب الشمالي كنقطة وحيدة. وإذ يتحرَّك الواحد جنوبًا، فإن دوائر خطوط العرض التي على مسافة ثابتة من القطب الشمالي تصبح أكبر بما يقابل تمدد الكون بالزمان التخيلي شكل (8-1). وسيصل الكون إلى أقصى حجم عند خط الاستواء وسوف ينكمش بتزايد الزمان التخيلي ليصل إلى نقطة واحدة عند القطب الجنوبي. ورغم أن حجم الكون صفرًا عند القطبين الشمالي والجنوبي، فإن هاتين النقطتَيْن لن تكونا مفردَتَيْن، بأكثر مما يكون قطبا الأرض الشمالي والجنوبي فريدَيْن. وستنطبق قوانين العلم عليهما، مثلما تنبطق على قطبي الأرض الشمالي والجنوبي.



شكل (8-1)

إلا أن تاريخ الكون، في الزمان الحقيقي، سيبدو مختلفًا جدًا. فمنذ ما يقرب من عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، كان له حجم أدنى، يساوي أقصى نصف قطر للتاريخ في الزمان التخيلي. في الأزمنة الحقيقية اللاحقة، سيتمدَّد الكون على مثال النموذج التضخمي الفوضوي الذي اقترحه لنده (ولكن ليس على المرء الآن افتراض أن الكون قد نشأ بطريقة ما في الحالة ذات النوع المناسب). سوف يتمدَّد الكون إلى حجم كبير جدًا ثم يتقلَّص ثانية في النهاية إلى ما يبدو كمتفرِّدة في الزمان الحقيقي. وهكذا، فبمعنى ما، فإننا ما زلنا كلنا يتحتم هلاكنا، حتى ولو بقينا بعيدًا عن الثقوب السوداء. لن ينتفي وجود المتفرِّدات إلا إذا أمكننا تصوير الكون بحدود من الزمان التخيلي.

إذا كان الكون حقًا في مثل هذه الحالة من الكم، فإنه لن تكون ثمّة متفرِّدات في تاريخ الكون في الزمان التخيلي. قد يبدو إذن أن بحثي الأحدث قد أبطل تمامًا نتائج بحثي الأقدم عن المتفرِّدات. ولكن، وكما سبق بيانه، فإن الأهمية الحقيقية لمبرهنات المتفرِّدة هي أنها قد بيَّنت أن مجال الجاذبية يصبح على درجة من القوة بحيث إن تأثيرات كم الجاذبية لا يمكن تجاهلها. وقد أدى هذا بدوره إلى فكرة أن الكون يمكن أن يكون متناهيًا في الزمان التخيلي ولكنه بلا حدود أو متفرِّدات. على أنه عندما يعود المرء إلى الزمان الحقيقي الذي نعيش فيه، فإنه على ما يبدو ستظل هناك متفرِّدات. رائد الفضاء التعس الذي يقع في ثقب أسود سيظل يصل في مصيره إلى نهاية مؤلمة؛ إلا إذا عاش وحسب في الزمان التخيلي حيث لن يجابه متفرِّدات.

لعل هذا فيه اقتراح بأن ما يسمَّى الزمان التخيلي هو حقًا الزمان الحقيقي، وما نسميه الزمان الحقيقي هو مجرَّد تلفيق من خيالنا. في الزمان الحقيقي، تكون للكون بداية ونهاية عند متفرِّدات تشكل حدًا للمكان - الزمان، وتنهار عندها قوانين العلم. أما في الزمان التخيّلي، فما من متفرِّدات ولا حدود. وهكذا فقد يكون ما نسميه زمانًا تخيّليًا هو حقًا الزمان الأكثر جوهرية، وما نسميه زمانًا حقيقيًا هو مجرد فكرة اخترعناها لمساعدتنا على توصيف ما نظن أن الكون يشبهه. ولكن النظرية العلمية، حسب التناول الذي وصفته في الفصل الأول، هي فحسب نموذج رياضي نصنعه

لتوصيف مشاهداتنا: فهي توجد فقط في عقولنا. وهكذا يكون السؤال التالي لا معنى له: أيهما الحقيقي، الزمان «الحقيقي» أو «التخيّلي»؟ فالأمر ببساطة هو أيهما التوصيف الأكثر فائدة.

ويمكننا أيضًا أن نستخدم حاصل جمع التواريخ، هو وفرض اللاحدية، لاكتشاف أي خصائص الكون هي التي يحتمل أن تحدث معًا. وكمثال، فإن المرء يستطيع أن يحسب احتمال أن الكون يتمدَّد بالمعدل نفسه تقريبًا في كل الاتجاهات المختلفة في الوقت الذي تكون فيه كثافة الكون بقيمتها الحالية. النماذج المبسَّطة التي تم اختبارها حتى الآن، يثبت فيها في النهاية أن هذا الاحتمال مرتفع؛ أي أن شرط اللاحدية المفترض يؤدي إلى التنبؤ بأن من المحتمل جدًا أن المعدَّل الحالي لتمدُّد الكون هو متماثل تقريبًا في كل اتجاه. وهذا يتفق مع مشاهدات إشعاع الخلفية الميكروويفية، ما يبيِّن أن له ما يكاد يكون بالضبط الكثافة نفسها في أي اتجاه. ولو كان الكون يتمدَّد في بعض الاتجاهات أسرع مما في اتجاهات أخرى، فإن كثافة الإشعاع في هذه الاتجاهات كانت ستقل بمزيد من الإزاحة الحمراء.

التنبؤات الأخرى لشرط اللاحدية يجرى الآن بحثها. وإحدى المشاكل التي تثير الاهتمام بالذات هي مشكلة حجم الانحرافات الصغيرة عن الكثافة المتسقة في الكون المبكر والتي سببت تكوين المجرات أولا، ثم النجوم، وأخيرا تكويننا نحن. يدل مبدأ الريبة على أن الكون المبكر لا يمكن أن يكون متسقا بشكل كامل

لأنه لا بد من وجود بعض أوجه الريبة أو التراوحات في مواضع وسرعات الجسيمات. باستخدام شرط اللاحدية، نجد أن الكون يجب حقيقة أن يكون قد بدأ بالضبط بأدنى قدر ممكن من عدم الاتساق يسمح به مبدأ الريبة. وسوف يمر الكون بعدها بفترة من التمدد السريع، كما في النماذج التضخمية. وأثناء هذه الفترة، فإن أوجه عدم الاتساق الابتدائية يتم تضخيمها حتى تصبح كبيرة بما يكفي لتفسير أصل البنيات التي نلاحظها في ما حولنا. في كون متمدد، حيث كثافة المادة فيه تختلف قليلًا من مكان إلى آخر، فإن الجاذبية سوف تتسبب في أن تبطئ المناطق الأكثر كثافة من تمددها وتبدأ في الانكماش. سيؤدي هذا إلى تكوين المجرات، والنجوم، ويؤدي حتى في النهاية إلى تكوين مخلوقات تافهة مثلنا نحن. وهكذا فإن كل البنيات المعقَّدة التي نراها في الكون يمكن تفسيرها بشرط اللاحدية للكون هو ومبدأ الريبة في ميكانيكا الكَمّ.

فكرة أن المكان والزمان قد يكوِّنا مسطَّحًا مغلقًا بلا حد لها أيضًا تضمينات عميقة عن دور الرب في شؤون الكون. مع نجاح النظريات العلمية في وصف الأحداث، وصل معظم الناس إلى الاعتقاد بأن الرب يسمح للكون بأن يتطوَّر حسب مجموعة من القوانين ولا يتدخَّل في الكون لكسر هذه القوانين. على أن هذه القوانين لا تخبرنا بما ينبغي أن يكون عليه شكل الكون عند بدايته، سيظل هناك اعتماد على الرب ليشغِّل زنبرك الساعة ويختار طريقة

بدء عمله. طالما أن الكون له بداية سيكون في استطاعتنا افتراض أن له خالقًا. أما إذا كان الكون حقًا مكتملًا في حد ذاته، وليس له حد ولا حرف، فلن تكون له بداية ولا نهاية: فهو ببساطة موجود.



(9)

سهم الزمان

رأينا في الفصول السابقة كيف أن آراءنا عن طبيعة الزمان قد تغيَّرت عبر السنين. فحتى بداية هذا القرن، كان الناس يؤمنون بزمان مطلق. بمعنى أن أي حدث يمكن عنونته برقم يسمَّى «الزمان»، بطريقة وحيدة. فكل الساعات الجيدة تتفق على الفترة الزمنية ما بين حدثين. على أن اكتشاف أن سرعة الضوء تبدو متماثلة لكل من يلاحظها، أيًا ما كانت طريقة حركته، قد أدى إلى نظرية النسبية - وفي هذه النظرية يكون على المرء أن ينبذ فكرة أن ثمَّة زمانًا مطلقًا وحيدًا. وبدلًا من ذلك، فإن كل ملاحظ سيكون له مقياس الزمان الخاص به كما تسجله الساعة التي يحملها، والساعات التي يحملها ملاحظون مختلفون لا تتفق بالضرورة. وهكذا أصبح الزمان مفهومًا شخصيًا بدرجة أكبر، منسوبًا للملاحظ الذي يقيسه.

عندما يحاول المرء توحيد الجاذبية مع ميكانيكا الكم، فإن عليه أن يدخل فكرة الزمان «التخيلي» imaginary. الزمان التخيلي لا يمكن تمييزه عن الاتجاهات في المكان. إذا كان

المرء يستطيع أن يذهب شمالًا، فإنه يستطيع أن يدور ملتفًا ليتجه جنوبًا؛ وبما يساوي ذلك فإنه إذا كان المرء يستطيع ان يتجه إلى الأمام في الزمان التخيلي، فإنه ينبغي أن يتمكن من أن يدور ملتفًا ويتجه إلى الوراء. ويعني هذا أنه لا يمكن أن يكون ثمَّة فارق مهم بين الاتجاهين الأمامي والخلفي للزمان التخيلي. ومن الناحية الأخرى، فعندما ينظر المرء إلى الزمان «الحقيقي»، يكون هناك فارق كبير جدًا بين الاتجاهين الأمامي والخلفي، كما نعرف كلنا. من أين يأتي هذا الفارق بين الماضي والمستقبل؟ لماذا نتذكَّر الماضي وليس المستقبل؟

إن قوانين العلم لا تميِّز بين الماضي والمستقبل. وبدقة أكثر وكما تم شرحه سابقًا، فإن قوانين العلم لا تتغيَّر وهي تحت تأثير توليفة من العمليات (أو التناظرات) التي تعرف بالحروف T وP و C (حرف C يعني إبدال مضادات الجسيمات. وحرف P يعني اتخاذ صورة مرآة، فيتم التبادل بين اليمين واليسار. وحرف T يعني عكس اتجاه الحركة لكل الجسيمات: أي في الواقع. تسيير الحركة إلى الـوراء). وقوانين العلم التي تحكم سلوك المادة في كل المواقف الطبيعية لا تتغيَّر وهي تحت تأثير توليفة من العمليتين P و C فقط. وبكلمات أخرى فإن الحياة ستكون هي نفسها بالضبط بالنسبة لسكان كوكب آخر ممن يكونون صورة مرآة منَّا، وأيضًا مصنوعين من مضاد المادة بدلًا من المادة.

إذا كانت قوانين العلم لا تتغير بتوليفة عمليتي P و C، وأيضًا

بتوليفة عمليات T و P و C، فإنها يجب ألا تتغيَّر أيضًا تحت تأثير عملية T وحدها. على أن هناك فارقًا كبيرًا بين اتجاهَيْ الأمام والوراء للزمان الحقيقي في الحياة العادية. تصوَّر قَدَح ماء يقع من على مائدة وينكسر على الأرض إلى قطع. لو أخذت لذلك فيلمًا سينمائيًا، فإنه سيمكنك بسهولة أن تعرف إذا كان الفيلم يسير إلى الأمام أو إلى الوراء، ولو سيَّرته إلى الوراء فسوف ترى القطع تجمع نفسها معًا فجأة من على الأرضية وتقفز عائدة لتكوّن قدحًا كاملًا على المائدة. ويمكنك أن تعرف أن الفيلم يُدار إلى الوراء لأن هذا النوع من السلوك لا يشاهد قط في الحياة العادية. ولو كان مما يحدث لأفلس صنَّاع الخزف.

والتفسير الذي يُعطَى عادة كسبب لرؤيتنا الأقداح المكسورة تجمع نفسها معًا من على الأرضية لتثب عائدة فوق المائدة هو أنه أمر محظور بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية. ويقول هذا إنه في أي نظام مغلق فإن الاضطراب او الإنتروبيا تتزايد دائمًا بالوقت. وبكلمات أخرى، فإنه شكل من قانون مورفي القائل: «الأشياء تنزع دائمًا لأن يختل نظامها!». فالقَدَح السليم على المائدة حالة من نظام على درجة عالية، أما القدح المكسور على الأرض فهو حالة من الاضطراب. ومن السهل أن يمضي المرء من القدح الذي على المائدة في الماضي إلى القدح المكسور على الأرضية في المستقبل، ولكن ليس من السهل المضي في الطريق العكسي.

زيادة الاضطراب أو الإنتروبيا مثال من أمثلة ما يسمَّى سهم

الزمان، شيء ما يميِّز الماضي عن المستقبل، ويعطي للزمان اتجاهًا. هناك على الأقل ثلاثة أسهم مختلفة للزمان. فأولًا، هناك سهم ديناميكي حراري للزمان، هو اتجاه الزمان الذي يتزايد فيه الاضطراب أو الإنتروبيا. ثم هناك السهم النفسي للزمان. وهذا هو الاتجاه الذي نحس فيه بمرور الزمان، الاتجاه الذي نتذكَّر فيه الماضي وليس المستقبل. وأخيرًا فإن هناك السهم الكوني للزمان. وهذا هو اتجاه الزمان الذي يتمدَّد فيه الكون بدلًا من أن ينكمش.

في هذا الفصل سوف أحاج بأن شرط «اللاحدية» no boundary للكون، والمبدأ الإنساني الضعيف، يستطيعان تفسير السبب في أن الأسهم تشير إلى الاتجاه نفسه، ويستطيعان فوق ذلك تفسير لِمَ ينبغي أن يوجد سهم زمان محدَّد بصورة دقيقة. سوف أحاجج بأن السهم النفسي للزمان يتحدَّد بالسهم الديناميكي - الحراري، وأن هذين السهمّين يشيران بالضرورة دائمًا في الاتجاه نفسه ولو افترض المرء شرط اللاحدية للكون فسوف نرى أنه يجب أن توجد أسهم زمان ديناميكية حرارية وكونية ذات تحدد دقيق، ولكنها لن تشير إلى الاتجاه نفسه بالنسبة إلى تاريخ الكون بأكلمه، على أني سوف أحاجج بأنهما عندما يشيران بالفعل إلى الاتجاه نفسه فإن الظروف - عند ذلك فقط - تكون ملائمة لنشأة كائنات ذكية تستطيع أن تسأل: لماذا يزيد الاضطراب في اتجاه الزمان نفسه الذي يتمدَّد فيه الكون؟

سوف أناقش أولًا السهم الديناميكي - الحراري للكون. إن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ينتج عن حقيقة أنه توجد دائمًا حالات من الاضطراب أكثر بكثير مما يوجد من الحالات المنتظمة. ولتنظر مثلًا أمر قطع لعبة الصور المقطعة Jigsaw وهي في صندوق. فهناك ترتيب واحد. وترتيب واحد فقط، حيث تصنع القطع صورة كاملة. ومن الناحية الأخرى، هناك عدد كبير جدًا من الترتيبات التي تكون فيها القطع مضطربة النظام ولا تصنع صورة.

لنفترض أن نسقًا قد نشأ وهو في إحدى الحالات القليلة العدد المنتظمة. وإذ يمضي الوقت، سيتطوَّر النسق حسب قوانين العلم وتتغيَّر حالته. وفي وقت لاحق، سيكون الاحتمال الأكبر أن النسق سيكون في حالة من الاضطراب، من أن يكون في حالة انتظام، لأن عدد حالات الاضطراب أكثر. وهكذا فإن الاضطراب ينزع إلى أن يزيد بمضيِّ الوقت لو أن النسق كان يخضع لحالة ابتدائية على درجة عالية من الانتظام.

لنفترض أن قطع لعبة الصور المقطعة تبدأ في أحد الصناديق في الترتيب المنتظم الذي تشكل فيه صورة. لو هززت الصندوق ستتخذ القطع ترتيبًا آخر. وسيكون هذا في ما يحتمل ترتيبًا مضطربًا حيث القطع لا تشكِّل صورة صحيحة، وذلك ببساطة لأن هناك ترتيبات مضطربة عددها أكبر كثيرًا. وستظل بعض مجموعات القطع تشكِّل أجزاء من الصورة، ولكنك كلما هززت الصندوق أكثر، ازداد احتمال أن تتكسَّر هذه المجموعات فتصبح

القطع في حالة اضطراب كاملة لا تشكّل فيها أي جزء من الصورة. وهكذا فإن اضطراب القطع يزيد في ما يحتمل بمضي الوقت إذا كانت القطع تخضع - في الحالة الابتدائية التي بدأت بها - لظرف من درجة نظام عالية.

لنفترض أن الرب قرّر أن الكون يجب أن ينتهي في حالة من درجة انتظام عالية، ولكن حالته عند بدايته غير مهمة. فسيكون من المحتمل أن الكون في العهود المبكرة كان في حالة من الاضطراب. وسيعني هذا أن «الاضطراب» «سيقل» بمضي الوقت. سوف نرى أقداح مكسورة تضم أنفسها معًا وتثب عائدة فوق المائدة. وعلى أي حال، فإن أي كائنات بشرية كانت ترقب الأقداح ستعيش في كون يقل فيه الاضطراب بمضي الوقت. وسوف أحاجج بأن كائنات كهذه سيكون لها سهم نفسي للزمان يتجه إلى الوراء. بمعنى أنهم سوف يتذكّرون الأحداث في المستقبل، ولا يتذكّرون الأحداث في الماضي. وعندما كان القدح مكسورًا، فإنهم سيتذكرونه موجودًا على المائدة ولكنه عندما كان على المائدة فإنهم لن يتذكروا وجوده على الأرضية.

من الأمور الصعبة نوعًا، التحدث عن الذاكرة البشرية لأننا لا نعرف كيف يعمل المخ بالتفصيل. على أننا نعرف بالفعل كل شيء عن طريقة عمل ذاكرة الكمبيوتر. وهكذا فسوف أناقش السهم النفسي للزمان عند الكمبيوترات. وأعتقد أن من المعقول أن نفترض أن سهم الكمبيوترات مماثل لسهم البشر. فهو لو لم

يكن كذلك، لاستطاع المرء أن يفوز بربح هائل مفاجئ في بورصة الأوراق المالية بأن يكون لديه كمبيوتر يتذكَّر أسعار الغد!

إن ذاكرة الكمبيوتر - أساسًا - أداة لاحتواء عناصر يمكن أن توجد في إحدى حالتين. والمثال البسيط لذلك هو العدّاد. وهو في أبسط أشكاله يتكوَّن من عدد من الأسلاك؛ وعلى كل سلك خرزة يمكن وضعها في أحد وضعين. قبل أن يُسجل بند ما في ذاكرة الكمبيوتر، تكون الذاكرة في حالة من الاضطراب، مع تساوي الاحتمالات بالنسبة للحالتين الممكنتين. (خرز العدّاد مبعثر عشوائيًا على أسلاكه). بعد أن تتفاعل الذاكرة مع النسق لتصبح مُتذكِّرة، فإنها تكون بالتأكيد إما في هذه الحالة أو الأخرى، حسب حالة النسق. (كل خرزة في العداد ستكون إما على يسار أو يمين سلك العداد). وهكذا فإن الذاكرة قد مرَّت من حالة اضطراب إلى حالة انتظام. وعلى كل، فإنه حتى يتم التأكد من أن الذاكرة في الحالة الصحيحة، فإنه من الضروري استخدام قدر معين من الطاقة (أن تُحرّك الخرزة مثلًا أو يوصَّل مصدر القوى للكمبيوتر). وهذه الطاقة تتفرَّق على شكل حرارة، وتزيد قدر الاضطراب الذي في الكون. ويمكن للمرء أن يبيِّن أن هذا الاضطراب يكون دائمًا أكبر من الزيادة في نظام الذاكرة نفسه. وهكذا فإن الحرارة المطرودة بواسطة مروحة الكمبيوتر المبرِّدة تعني أنه عندما يسجّل الكمبيوتر بندًا في الذاكرة، فإن القَدْر الكلي للاضطراب في الكون سيظل في ازدياد. اتجاه الزمان الذي يتذكَّر

به أحد الكمبيوترات الماضي هو مماثل للاتجاه الذي يزيد فيه الاضطراب.

وهكذا فإن إحساسنا الذاتي بالزمان، السهم النفسي للزمان، يتحدَّد إذن داخل مخّنا بالسهم الديناميكي - الحراري للزمان. ومثل الكمبيوتر تمامًا، فإننا يجب أن نتذكَّر الأشياء في الاتجاه الذي تزيد فيه الإنتروبيا. وهذا يجعل من القانون الثاني للديناميكا الحرارية شيئًا يكاد يكون مبتذلًا. فالاضطراب يزيد بمرور الوقت لأننا نقيس الزمان في الاتجاه الذي يريد فيه الاضطراب. ولا يمكن أن تراهن رهانًا أكثر أمنًا من ذلك!

ولكن لماذا ينبغي أن يكون هناك سهم ديناميكي حراري للزمان؟ أو بكلمات أخرى، لماذا ينبغي أن يكون الكون في حالة من درجة انتظام عالية عند أحد طرفي الزمان، الطرف الذي نسميه الماضي؟ ولماذا لا يكون الكون في حالة من الاضطراب الكامل في كل الأوقات؟ ورغم كل شيء، فإن هذا هو ما قد يبدو الأكثر احتمالًا. ولماذا يكون اتجاه الزمان الذي يزيد فيه الاضطراب هو الاتجاه نفسه الذي يتمدَّد فيه الكون؟

في النظرية الكلاسيكية للنسبية العامة، لا يمكن للمرء أن يتنبَّأ بالطريقة التي بدأ بها الكون، لأن كل قوانين العلم المعروفة ستنهار عند متفرِّدة الانفجار الكبير. وقد يكون من الممكن أن الكون قد بدأ في حالة هي جد مستوية ومنتظمة وسيكون هذا ما يؤدي إلى أسهم محدَّدة بدقة للزمان الديناميكي - الحراري والزمان

الكوني، بمثل ما نلاحظ. ولكن قد يتساوى احتمال حدوث ذلك مع احتمال أن الكون قد بدأ في حالة وعورة واضطراب شديدين. وفي هذه الحالة سيكون الكون بالفعل في حالة اضطراب كامل، وهكذا فإن الاضطراب لا يمكن أن يزيد بمرور الوقت. وهو إما أن يبقى ثابتًا، وفي هذه الحالة فلن يكون ثمَّة سهم محدَّد بدقة للزمان الديناميكي - الحراري، أو أنه سينقص، وفي هذه الحالة فإن سهم الزمان الديناميكي - الحراري سيشير إلى الاتجاه المضاد للسهم الكوني. لا يتفق أي من هذين الاحتمالين مع ما نلاحظه. وعلى كل، فكما سبق أن رأينا، فإن النسبية العامة الكلاسيكية تتنبَّأ بسقوطها هي نفسها. عندما يصبح انحناء المكان - الزمان كبيرًا، تصبح تأثيرات كَمّ الجاذبية مهمة وتتوقَّف النظرية الكلاسيكية عن أن تكون توصيفًا جيدًا للكون. ويصبح على المرء أن يستخدم نظرية كمّ للجاذبية حتى يفهم كيف بدأ الكون.

وكما رأينا في الفصل الأخير، فإنه حتى توصِّف نظرية الكم للجاذبية حالة الكون فإنه سيظل على المرء أن يذكر كيف تسلك التواريخ المحتملة للكون عند حد المكان - الزمان في الماضي. يستطيع المرء تجنُّب صعوبة أن يكون علينا توصيف ما لا نعرف وما لا نستطيع أن نعرف، وذلك فقط إذا كانت التواريخ تفي بشرط اللاحدية: أي أنها متناهية في مداها، ولكن ليست لها حدود، أو حروف، أو متفرِّدات. في هذه الحالة، فإن بداية الزمان ستكون نقطة منتظمة مستوية من المكان - الزمان ويكون الكون

قد بدأ تمدده في حالة جد منتظمة ومستوية. ولكنه لا يمكن أن يكون متسقًا بالكامل، لأن هذا سيكون انتهاكًا لمبدأ الريبة في نظرية الكم. وإنما يجب أن تكون ثمَّة تراوحات صغيرة في كثافة وسرعات الجسيمات. على أن شرط اللاحدية يعني أن هذه التراوحات تكون صغيرة بقدر ما يمكن، بما يتفق ومبدأ الريبة.

سيكون الكون قد بدأ بفترة من التمدُّد الأسِّي أو «التضخّمي» حيث يزيد من حجمه بمعامل كبير جدًا. وفي أثناء هذا التمدد، تظل تراوحات الكثافة صغيرة في أول الأمر، ولكنها فيما بعد تبدأ في الزيادة. والمناطق التي تكون الكثافة فيها أكثر قليلًا من المتوسط سيبطؤ تمددها بسبب شد الجاذبية للكتلة الإضافية. في النهاية، فإن هذه المناطق ستتوقَّف عن التمدد وتتقلَّص لتشكُّل المجرات. والنجوم، وكائنات مثلنا. ويكون الكون قد بدأ في حالة مستوية منتظمة، ليصبح وعرًا مضطربًا بمرور الوقت. وسيفسِّر هذا وجود السهم الديناميكي - الحراري للزمان.

ولكن ماذا سيحدث إذا/ وعندما يتوقَّف الكون عن التمدُّد ويبدأ في الانكماش؟ هل سينعكس السهم الدينامكي الحراري ويبدأ الاضطراب يقل بمضيِّ الوقت؟ إن هذا سيؤدي إلى كل أنواع الاحتمالات التي تشبه ما يحدث في روايات الخيال العلمي وذلك بالنسبة إلى الناس الذين سيبقون أحياء من طور التمدد حتى طور الانكماش. هل سيرون الأقداح المكسورة تجمع نفسها معًا من على الأرضية وتثب عائدة فوق المائدة؟ هل سيمكنهم أن

يتذكَّروا أسعار الغد وأن يكسبوا ثروة من سوق الأوراق المالية؟ وقد يبدو من الأكاديمي بعض الشيء أن ننشغل بما سوف يحدث عندما يتقلَّص الكون ثانية، لأنه لن يبدأ في الانكماش قبل ما لا يقل عن عشرة آلاف مليون سنة أخرى. على أن ثمَّة طريقة أسرع لمعرفة ما سيحدث: هي القفز في ثقب أسود. إن تقلص أحد النجوم ليشكِّل ثقبًا أسود يشبه نوعًا ما المراحل المتأخِّرة لتقلص الكون كله. وهكذا فإنه إذا كان الاضطراب سيقل في طور الانكماش للكون، فإن المرء قد يتوقَّع له أيضًا أن يقل في الثقب الأسود. وهكذا فلعل رائد الفضاء الذي سيسقط في الثقب الأسود سيتمكن من كسب النقود في لعبة الروليت لأنه سيتذكَّر أين ذهبت الكرة قبل أن يضع رهانه. (على أنه لسوء الحظ لن يُتاح له زمن طويل للعب قبل أن يتم تحويله إلى اسباجتي. ولا هو سيستطيع حتى أن يجعلنا نعرف شيئًا عن عكس اتجاه السهم الديناميكي -الحراري، ولا حتى أن يضع مكاسبه في البنك، لأنه سيقع محصورًا وراء أفق حدث الثقب الأسود).

اعتقدتُ في أول الأمر أن الاضطراب سيقل عندما يتقلص الكون ثانية. وسبب ذلك أني اعتقدت أن الكون سيكون عليه أن يعود إلى حالة مستوية منتظمة عندما يصبح صغيرًا ثانية. وسيعني هذا أن طور الانكماش سيكون بمثابة العكس الزماني لطور التمدُّد. الناس في طور الانكماش سيعيشون حياتهم إلى الوراء: فهم سيموتون قبل ولادتهم، ويصبحون أكثر شبابًا كلما انكمش الكون.

إنها لفكرة جذابة لأنها تعني تناظرًا لطيفًا بين طورَيْ التمدُّد والانكماش. على أن المرء لا يستطيع أن يقرّ بها في حد ذاتها، مستقلة عن الأفكار الأخرى عن الكون. والسؤال هو: أهي مما يدل عليه شرط اللاحدية، أم مما لا يتفق مع هذا الشرط؟ وكما سبق أن قلت، فقد اعتقدت أول الأمر أن شرط اللاحدية يدل حقًا على أن الاضطراب سيقل في طور الانكماش. وقد خُدعت جزئيًا بقياس التماثل مع سطح الأرض. ولو أخذ المرء بداية الكون على أنها تقابل القطب الشمالي، فإن نهايته إذن ينبغي أن تكون مماثلة للبداية، تمامًا مثلما يُماثل القطب الجنوبي القطب الشمالي، على أن القطبَيْن الشمالي والجنوبي يقابلان بداية ونهاية الكون في الزمان التخيلي. أما البداية والنهاية في الزمان الحقيقي فقد تختلف إحداهما عن الأخرى اختلافًا بالغًا. كما خُدعت أيضًا ببحث قمت به على نموذج بسيط للكون حيث الطور المتقلِّص يبدو كأنه العكس الزماني للطور المتمدد. على أن زميلًا لي، هو دون بيج من جامعة ولاية بنسلفانيا، بيَّن أن شرط اللاحدية لا يتطلَّب بالضرورة أن يكون الطور المنكمش هو العكس الزماني للطور المتمدِّد. وفوق ذلك. فإن واحدًا من طلبتي، وهو ريموند لافلام، وجد أنه في نموذج أكثر تعقدًا بدرجة هينة، يكون تقلُّص الكون مختلفًا جدًا عن التمدد. وتحقَّقتُ من أني قد ارتكبت خطأً: إن شرط اللاحدية يدل على أن الاضطراب في الحقيقة سيستمر في التزايد أثناء الانكماش. وسهما الزمان الديناميكي - الحراري والنفسي لن ينعكسا عندما يبدأ الكون في الانكماش ثانية، أو لن ينعكسا في داخل الثقوب السوداء.

ما الذي ينبغي أن تفعله عندما تعرف أنك قد ارتكبت خطأً مثل هذا؟ بعض الناس لا يقرِّون قط بأنهم على خطأ. وحتى يدعموا قضيتهم فإنهم يواصلون البحث عن حجج جديدة، كثيرًا ما تكون غير متماسكة بصورة متبادلة، كما فعل إدنجتون عند معارضته لنظرية الثقب الأسود. ويزعم آخرون أنهم في الحقيقة لم يدعموا قط في المكان الأول النظرة غير الصحيحة، أو أنهم إذا كانوا قد فعلوا، فما كان ذلك لا لتوضيح أنها غير متماسكة. ويبدو لي أنك لو اعترفت كتابة بأنك على خطأ يكون هذا أفضل كثيرًا وأقل بلبلة. آينشتاين كان مثالًا طيبًا لذلك، عندما وصف الثابت الكوني الذي أدخله وهو يحاول صنع نموذج استاتيكي للكون، بأنه أكبر خطأ في حياته.

وإذ نعود إلى سهم الزمان، فإنه يبقى هناك سؤال، لماذا نلاحظ بالفعل أن السهم الديناميكي - الحراري والسهم الكوني يشيران إلى الاتجاه نفسه؟ أو بكلمات أخرى، لماذا يزيد الاضطراب في اتجاه الزمان نفسه الذي يتمدَّد فيه الكون؟ إذا كان المرء يؤمن بأن الكون سيتمدَّد ثم ينكمش ثانية، كما يدل افتراض شرط اللاحدية في ما يبدو، فإن هذا يصبح سؤالًا عن السبب في أننا ينبغي أن نكون في الطور المتمدِّد بدلًا من الطور المنكمش.

يمكن للمرء أن يجيب عن ذلك على أساس المبدأ الإنساني الضعيف. فالظروف في الطور المنكمش لن تكون ملائمة لوجود كائنات حية ذكية تستطيع أن تسأل: لماذا يزيد الاضطراب في

اتجاه الزمان نفسه الذي يتمدَّد فيه الكون؟ التضخُّم في أطوار الكون المبكِّرة، والذي يتنبَّأ به افتراض شرط اللاحدية، يعني أن الكون يتمدَّد ولا بد بالسرعة القريبة جدًا من السرعة الحرجة التي يتفادى عندها بالضبط التقلص ثانية، وهكذا فإنه لن يتقلَّص ثانية لزمن طويل جدًا. وعند ذاك ستكون كل النجوم قد احترقت ومن المحتمل أن البروتونات والنيوترونات التي فيها ستتحلل إلى جسيمات ضوء وإشعاع. وسيكون الكون في حالة تكاد تقترب من الاضطراب الكامل ولن يكون ثمَّة سهم قوي للزمان الديناميكي - الحراري. لا يمكن أن يزيد الاضطراب كثيرًا لأن الكون سيكون بالفعل في حالة تكاد تكون اضطرابًا كاملا. على أن وجود سهم ديناميكي حراري قوي هو من الضروري حتى تعمل الحياة الذكية. فحتى يمكن للكائنات البشرية أن تبقى، يكون عليها أن تستهلك الطعام، الذي هو شكل منتظم من الطاقة، ثم تحوّله إلى الحرارة، التي هي شكل مضطرب للطاقة. وهكذا فإن الحياة الذكية لا يمكن أن توجد في الطور المنكمش للكون. وهذا هو تفسير السبب في أننا نلاحظ أن سهم الزمان الديناميكي - الحراري وسهم الزمان الكوني يشيران إلى الاتجاه نفسه، وليس السبب أن تمدد الكون هو الذي يسبِّب تزايد الاضطراب. الأوْلَى، هو أن شرط اللاحدية يسبِّب تزايد الاضطراب وأن تكون الظروف ملائمة للحياة الذكية في الطور المتمدِّد فقط.

وللتلخيص، فإن قوانين العلم لا تميِّز بين اتجاهَيْ الزمان

إلى الأمام وإلى الوراء. على أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم تميِّز بالفعل الماضي من المستقبل. وهي السهم الديناميكي - الحراري، اتجاه الزمان الذي يتزايد فيه الاضطراب؛ والسهم النفسي، اتجاه الزمان الذي نتذكَّر فيه الماضي لا المستقبل؛ والسهم الكوني، اتجاه الزمان الذي يتمدَّد فيه الكون بدلًا من أن ينكمش. وقد بينت أن السهم النفسي في جوهره مماثل للسهم الديناميكي - الحراري، وهكذا فإن الاثنين يشيران دائمًا إلى الاتجاه نفسه. فرض اللاحدية للكون يتنبأ بوجود سهم محدَّد تحديدًا دقيقًا للزمان الديناميكي - الحراري لأن الكون يجب أن يبدأ في حالة مستوية منتظمة. والسبب في أننا نلاحظ أن هذا السهم الديناميكي - الحراري يتفق والسهم الكوني هو أن الكائنات الذكية لا يمكن أن توجد إلا في الطور المتمدِّد. فالطور المنكمش سيكون غير ملائم لأنه ليس له سهم قوي للزمان الديناميكي - الحراري.

لقد أرسى تقدَّم الجنس البشري في فهم الكون ركنًا صغيرًا من النظام في كون يتزايد اضطرابه. ولو أنك تذكَّرت كل كلمة في هذا الكتاب، فإن ذاكرتك تكون قد سجَّلت ما يقرب من مليوني قطعة من المعلومات، وسيكون النظام قد ازداد في مخك بما يقرب من مليوني وحدة. على أنك أثناء قراءتك للكتاب، ستكون قد حوَّلت على الأقل ألف سعرة حرارية من الطاقة المنتظمة على شكل طعام، إلى طاقة مضطربة على شكل حرارة، تفقدها في

الهواء من حولك بواسطة الحمل الحراري والعرق. وسوف يزيد ذلك من اضطراب الكون بما يقرب من 20 مليون مليون مليون مليون وحدة - أو ما يقرب من عشرة مليون مليون مليون ضعف لزيادة النظام في مخك - هذا إذا كنت تتذكَّر «كل شيء» في هذا الكتاب. في الفصل التالي سأحاول أن أزيد النظام في رؤوسنا أكثر قليلًا بأن أفسِّر كيف يحاول الناس أن يوائموا معًا النظريات الجزئية التي وصفتها ليشكِّلوا نظرية كاملة موحَّدة تغطِّي كل شيء في الكون.



(10)

الثقوب الدودية والسفر في الزمان

في الفصل السابق، ناقشنا لماذا نرى الزمان وهو يمضي إلى الأمام: لماذا يزيد عدم الانتظام ولماذا نتذكَّر الماضي وليس المستقبل. عُومل الزمان كما لو كان خطًا مستقيمًا للسكك الحديدية، يستطيع المرء أن يتجه فيه فقط في اتجاه واحد أو اتجاه آخر.

ولكن ماذا لو كان لخط السكة الحديدية أنشوطات وفروع بحيث إن القطار يستطيع أن يواصل الانطلاق إلى الأمام، ولكنه يعود ثانية إلى محطة قد مر بها فيما سبق؟ بكلمات أخرى، هل يمكن لأحدهم أن يسافر إلى المستقبل أو الماضي؟

استكشف هـ. ج. ويلز في رواية: «آلة الزمان» هذه الاحتمالات، كما فعل ذلك عدد لا يُحصى من كتَّاب روايات الخيال العلمي. على أن الكثير من أفكار روايات الخيال العلمي، مثل الغوَّاصات والسفر إلى القمر قد أصبحت أمورًا من الحقائق العلمية. وعلى ذلك، فما التوقعات للسفر في الزمان؟

في عام 1949 وصلت أولى الدلائل على أن قوانين الطبيعة قد تسمح حقًا للناس بأن يسافروا في الزمان، وذلك عندما اكتشف كيرت جودل مكان – زمان جديد نتيجة النسبية العامة. جودل عالم رياضيات اشتُهر بأنه برهن على أنه من المستحيل البرهنة على كل الإفادات الحقيقية، حتى لو قيدت نفسك بمحاولة البرهنة على كل الإفادات الحقيقية في موضوع جاف واضح الحدود مثل الحساب. مبرهنة جودل عن عدم الاكتمال هي مثل مبدأ الريبة، قد يكون فيها قيد أساسي على قدرتنا على فهم الكون والتنبؤ بشأنه، ولكن يبدو حتى الآن أنها ليست عقبة في بحثنا عن نظرية موحَّدة كاملة.

توصَّل جودل إلى معرفته بالنسبية العامة عندما أمضى هو وآينشتاين سنواتهما الأخيرة في «معهد الدراسات المتقدِّمة في برينستون». المكان – الزمان الخاص بجودل لديه خاصية عجيبة: الكون كله يدور. قد يسأل الواحد منَّا: «يدور بالنسبة إلى ماذا؟» الإجابة هي أن المادة البعيدة تدور بالنسبة إلى اتجاهات تشير إليها القمم الصغيرة أو الجيروسكوبات.

لهذا تأثير جانبي بأنه سيكون من الممكن لأحدهم أن ينطلق في سفينة صاروخية ويعود إلى الأرض قبل أن ينطلق أصلًا. أدت هذه الخاصية إلى أن ينزعج آينشتاين حقًا، فقد كان يعتقد أن النسبية العامة لا تسمح بالسفر في الزمان. على الرغم من ذلك، وبالنظر إلى سجل آينشتاين، حيث نجد أنه كان يعارض – على

أسس خاطئة - التقلص الجَذْبوي، ومبدأ الريبة، فإن انزعاجه هذا ربما تكون فيه علامة مشجِّعة. الحل الذي وجده جودل لا يناظر الكون الذي نعيش فيه، لأننا نستطيع أن نُظهر أن الكون لا يدور. كما أنه له أيضًا قيمة من اللاصفر للثابت الكوني الذي أدخله آينشتاين عندما كان يعتقد أن الكون لا يتغيَّر. بعد أن اكتشف هابل أن الكون يتمدَّد، لم تعُد هناك حاجة للثابت الكوني ويُعتقد الآن عمومًا أن قيمته صفر. على أنه تم العثور بعدها على أنواع مكان - زمان أخرى أكثر معقولية تسمح بها النسبية العامة وتتيح السفر في الماضي. أحد هذه الأنواع من المكان - الزمان هو ما يوجد في داخل ثقب أسود في حالة دوران. هناك نوع آخر من المكان - الزمان يحوي وترين كَونيَّين يتحرَّكان أحدهما عبر الآخر بسرعة عالية. كما يطرح الاسم، فإن الأوتار الكونية أشياء تشبه الأوتار في أن لها طولًا ولكنها بقطاع عرضي بالغ الصِّغَر.

الحقيقة، أنها أكثر شبهًا بالأربطة الدقيقة المطَّاطية لأنها تقع تحت تأثير شدٍّ هائل، قدره تقريبًا مليون مليون مليون مليون طن. الوتر الكوني المرتبط بالأرض يمكن أن يعجل معدَّل سرعتها من صفر إلى 60 ميلًا للساعة وذلك في جزء واحد من الثلاثين من الثانية. قد تبدو الأوتار الكونية مشابهة لرواية خيال علمي خالص، إلا أن هناك أسبابًا للاعتقاد بأنها يمكن أن تكون قد تشكَّلت في الكون المبكر نتيجة لكسر في التناظر من النوع الذي نُوقش في الفصل الخامس. نتيجة لأنها تكون تحت ضغط توتر هائل وأنها

يمكن أن تبدأ بأي شكل، فإنها قد تعجِّل بسرعتها إلى سرعة عالية جدًا عندما تستوي مستقيمة.

إن حل جودل ومكان – زمان الوتر الكوني يبدآن على درجة من التشوُّه البالغ حتى إن السفر في الماضي كان دائمًا ممكنًا. ربما يكون الرب قد خلق كونًا معوجًا بهذا الشكل، ولكننا لا يوجد لدينا أي سبب للاعتقاد بأنه فعل ذلك. تدل أرصاد الخلفية الميكروويفية ودرجات وفرة عناصر الضوء على أن الكون المبكر لم يكن لديه نوع الانحناء اللازم ليتيح السفر في الزمان. الاستنتاج نفسه يترتب على الأسس النظرية إذا كان فرض اللاحدية صحيحًا. هكذا فإن السؤال في الزمان، هل يمكننا بالتالي أن نمعج warp مناطق محلية من المكان – الزمان بما يكفي لأن يتيح ذلك؟

هناك مشكلة أخرى لها علاقة وثيقة بكتَّاب روايات الخيال العلمي، وهي السفر السريع بين النجوم أو بين الكواكب. حسب النسبية، لا يوجد أي شيء يستطيع الانتقال بأسرع من الضوء. وبالتالي فلو أرسلنا سفينة فضاء إلى أقرب نجم مجاور لنا «ألفا سنتوري»، الذي يبعد عنَّا بما يقرب من أربع سنوات ضوئية، فإنها ستستغرق على الأقل ثمانية أعوام قبل أن نتوقَّع عودة المسافرين ليخبرونا عمَّا وجدوه. إذا كانت البعثة مرسلة إلى مركز مجرتنا، فإنها لن تعود ثانية إلا بعد مائة ألف عام على الأقل. نظرية النسبية تتيح لنا بالفعل عزاءً واحدًا. إنه ما يسمَّى مفارقة التوائم التي ذُكرت في الفصل الثاني.

نتيجة لأنه لا يوجد معيار وحيد للزمان، وبدلًا من ذلك فإن كل واحد من الملاحظين لديه زمنه الخاص كما تقيسه الساعات التي يحملونها معهم، فإن من الممكن بسبب ذلك أن تبدو الرحلة أقصر كثيرًا بالنسبة لمسافري الفضاء عمَّا تكونه بالنسبة لمن يبقون فوق الأرض. إلا أنه لن يكون هناك ما يسعدنا كثيرًا عند العودة من رحلة فضاء مع زيادة في السن بأعوام قليلة لنجد أن كل فرد ممن تركناهم وراءنا قد مات وراح منذ آلاف من السنوات. هكذا فإن كتَّاب روايات الخيال العلمي حتى يثيروا كل الاهتمام البشري بقصصهم، أصبح عليهم أن يفترضوا أننا سوف نكتشف ذات يوم طريقة للسفر بأسرع من سرعة الضوء. يبدو أن معظم هؤلاء المؤلِّفين لم يدركوا أننا إذا استطعنا السفر بأسرع من الضوء فإن نظرية النسبية تتضمَّن عندها أننا تستطيع أيضًا أن نسافر عائدين كما تذكر القصيدة الخماسية الفكاهية (الأمريكية):

كانت هناك شابة من «وايت»

سافرت بسرعة أسرع كثيرًا من الضوء

لقد رحلت ذات يوم

بطريقة نسبية

ووصلت في الليلة السابقة لرحيلها».

النقطة هي أن نظرية النسبية تقول إنه لا يوجد مقياس وحيد للزمان يتفق كل الملاحظين عليه. بدلًا من ذلك، فإن كل ملاحظ

لديه قياسه الخاص للزمان. إذا أمكن لصاروخ يسافر بسرعة أقل من الضوء أن يصل من الحدث (أ) (الذي يكون مثلًا نهائيات سباق 100 متر في الألعاب الأولمبية في عام 2012) إلى الحدث (ب) (الذي يكون مثلًا افتتاح الاجتماع رقم 100004 لمؤتمر ألفا سنتوري)، فسوف يتفق كل الملاحظين على أن الحدث (أ) وقع قبل الحدث (ب) حسب توقيتاتهم. على أنه لو افترضنا أن سفينة الفضاء سيكون عليها أن تسافر بأسرع من الضوء لتحمل أنباء السباق إلى المؤتمر. سنجد عندها أن الملاحظين الذين يتحركون بسرعات مختلفة يمكن أن يختلفوا حول ما إذا كان الحدث (أ) قبل (ب) أو العكس بالعكس. حسب توقيت الملاحظ الذي يكون ساكنًا بالنسبة للأرض، قد يكون الأمر أن المؤتمر تم افتتاحه بعد السباق. هكذا فإن هذا الملاحظ سيظن أن سفينة الفضاء تستطيع أن تصل من (أ) إلى (ب) في الوقت المناسب لو كانت فقط تستطيع تجاهل حد السرعة لسرعة الضوء. على أن الملاحظ الذي يكون عند ألفا سنتوري وهو يتحرَّك بعيدًا عن الأرض بسرعة هي تقريبًا سرعة الضوء سيبدو له أن الحدث (ب)، افتتاح المؤتمر، يقع قبل الحدث (أ) أو سباق المائة متر. تقرِّر نظرية النسبية أن قوانين الفيزياء تبدو متماثلة بالنسبة للملاحظين الذين يتحرَّكون بسرعات مختلفة.

تم اختبار ذلك جيدًا بالتجربة، ومن المرجح أنه سيظل ملمحًا حتى إذا وجدنا نظرية أكثر تقدمًا تحل مكان النسبية. هكذا فإن

الملاحظ المتحرِّك سيقول أنه إذا كان السفر بأسرع من الضوء ممكنًا فإنه ينبغي أن يكون من الممكن الوصول من الحدث (ب)، أي افتتاح المؤتمر، إلى الحدث (أ)، أي سباق المائة متر. إذا انطلق المرء بمعدل أسرع قليلًا، سوف يستطيع حتى أن يعود قبل السباق، وأن يراهن مع معرفة أكيدة بأنه سيكسب الرهان.

هناك مشكلة حول كسر حاجز سرعة الضوء. تقرر نظرية النسبية أن قوة الصاروخ اللازم لزيادة تعجيل سرعة سفينة فضاء تصبح أكبر وأكبر كلما زادت السرعة قربًا من سرعة الضوء. لدينا أدلة تجريبية على ذلك، ليس مع استخدام سفن الفضاء وإنما مع الجسيمات الأولية في معجلات الجسيمات مثل ذلك الذي في «فيرمي لاب» أو في «سيرن» (المركز الأوربي للأبحاث النووية). نستطيع أن نعجل بالجسيمات إلى نسبة 99.99 في المائة من سرعة الضوء، ولكن مهما ازداد مقدار القوة التي نغذي بها ذلك، فإننا لن نستطيع أن نجعلها تتجاوز حاجز سرعة الضوء. سفن الفضاء، بمثل ذلك، مهما ازداد مقدار قوة الصاروخ لديها، لن تتمكن من أن تعجِّل بسرعتها بما يتجاوز سرعة الضوء. يبدو أن هذا يجعل من غير الوارد السفر السريع في الفضاء وكذلك السفر إلى الوراء في الزمان. على أن هناك مخرجًا لذلك. ربما يستطيع المرء أن يمعج المكان - الزمان بحيث يصبح هناك طريق مختصر بين (أ) و (ب) إحدى الطرائق لفعل ذلك هي خلق ثقب دودي بين (أ) و (ب) وكما يطرح الاسم، فإن الثقب الدودي أنبوبة رفيعة من

المكان - الزمان تستطيع أن توصل بين منطقتين مسطحتين تقريبًا وبينهما مسافة كبيرة.

ليست هناك حاجة لوجود علاقة بين المسافة خلال الثقب الدودي ومسافة الانفصال بين طرفيه في الخلفية التي تقرب من شكل القبعة. هكذا يمكن للمرء أن يتخيَّل أنه يستطيع أن يخلق أو أن يجد ثقبًا دوديًا يؤدِّي عبر العالم من مكان قريب من المنظومة الشمسية إلى ألفا سنتوري. المسافة خلال الثقب الدودي قد تكون فقط ملايين قليلة من الأميال، حتى وإن كانت الأرض بعيدة عن ألفا سنتوري بعشرين مليون مليون من الأميال في الفضاء العادي. سوف يتيح هذا أن تصل أنباء سباق المائة متر إلى افتتاح المؤتمر. ولكن سنجد عندها أن الملاحظ الذي يتحرَّك تجاه الأرض ينبغي أيضًا أن يتمكن من العثور على ثقب دودي آخر يمكنه من أن يصل من افتتاح المؤتمر فوق ألفا سنتوري ليعود إلى الأرض قبل بدء السباق. هكذا فإن الثقوب الدودية مثل أي شكل ممكن آخر من السفر بأسرع من الضوء سوف تتيح للمرء أن يسافر في الماضي.

فكرة وجود الثقوب الدودية بين المناطق المختلفة من المكان - الزمان لم تكن من اختراع كتّاب روايات الخيال العلمي وإنما أتت من مصدر محترم جدًا. في عام 1935 كتب آينشتاين وروزن ورقة بحث أوضحا فيها أن النسبية العامة تتيح وجود ما سمَّياه «الجسور» التي تعرف الآن بأنها الثقوب الدودية. جسور آينشتاين وروزن لا تبقى للزمن الكافي لأن تمر من خلالها سفينة فضاء:

ستلتقي السفينة بمتفرِّدة أثناء انضغاط الثقب الدودي. إلا أنه قد طُرح أنه قد يكون من الممكن لمدينة متقدمة أن تبقيَ الثقب الدودي مفتوحًا. حتى يتم فعل ذلك، أو لإحداث انبعاج في المكان - الزمان بأي طريقة أخرى لإتاحة السفر في الزمان، يستطيع المرء أن يبيِّن أنه يحتاج إلى منطقة من المكان - الزمان بها انحناء سلبي، مثل سطح السرج. المادة العادية التي لديها كثافة طاقة موجبة، تعطي للمكان - الزمان انحناءً إيجابيًا، مثل سطح الكرة. وهكذا فإن ما يحتاجه المرء حتى يحني المكان - الزمان بطريقة تتيح السفر في الماضي، هو مادة لها كثافة طاقة سلبية. الطاقة تشبه النقود نوعًا ما: إذا كانت لديك ميزانية إيجابية، فإنك تستطيع أن توزعها بطرق متنوعة، إلا أنه حسب القوانين الكلاسيكية التي كان يُعتقد فيها عند بداية القرن، لم يكن يُسمح لك بأن تسحب على المكشوف. وهكذا فإن هذه القوانين الكلاسيكية ستجعل من غير الوارد وجود أي إمكان للسفر في الزمان. على أنه كما سبق وصفه في فصول سابقة، فإن هذه القوانين الكلاسيكية قد أبطلتها قوانين الكم المؤسَّسة على مبدأ الريبة. قوانين الكم أكثر ليبرالية وتتيح لك أن تسحب على المكشوف من حساب أو حسابَيْن، بشرط أن تكون الميزانية الكلية إيجابية. بكلمات أخرى، تسمح نظرية الكم لكثافة الطاقة أن تكون سلبية في بعض المواضع، بشرط أن يعوَّض ذلك بكثافات طاقة إيجابية في مواضع أخرى، بحيث تبقى الطاقة الكلية إيجابية. هناك مثال للطريقة التي يمكن بها لنظرية الكم أن تسمح بكثافات طاقة سلبية يتوفَّر لنا في ما يسمَّى

«تأثير كاسيمير» Casimir effect. كما رأينا في الفصل السابع، فإنه حتى ما نظن أنه فراغ «خاوٍ» يكون مليئًا بأزواج من جسيمات افتراضية وجسيمات مضادة تظهر معًا، وتتحرَّك متباعدة، ثم تعود معًا ويُفني أحدها الآخر. لنفترض الآن أن لدينا لوحَيْن معدنيَّيْن متوازيَيْن بينهما مسافة قصيرة. سيكون للّوحين فعل مثل مرآتين بالنسبة للفوتونات الافتراضية أو جسيمات الضوء. سوف يشكِّلان في الحقيقة تجويفًا في ما بينهما، بما يشبه نوعًا أنبوبة أرغن تصدر رنينًا فقط عند نغمات معينة. يعني هذا أن الفوتونات الافتراضية يمكن فقط أن تحدث في الفراغ بين اللوحين إذا كانت أطول موجاتها (المسافة بين قمة إحدى الموجات والقمة التالية) تتلاءم مع عدد صحيح من المرات في الفجوة ما بين اللوحين. إذا كان اتساع الفجوة يساوي عددًا صحيحًا من أطوال الموجات زائد كسر من طول الموجة، وبعد القليل الانعكاسات وراءً وأمامًا بين اللوحين، ستتطابق قمم إحدى الموجات مع قيعان موجة أخرى وتُلغى الموجات.

بما أن الفوتونات الافتراضية بين اللوحين تستطيع أن يكون لديها فقط أطوال الموجات الرنَّانة، سوف يوجد منها عدد أقل قليلًا عمّا في المنطقة خارج اللوحين، حيث تستطيع الفوتونات الافتراضية أن يكون لها أي طول مَوْجي. وبالتالي، سيوجد عدد فوتونات افتراضية ترتطم بالسطحين الداخليين للّوحين هو عدد أقل قليلًا مما عند السطحَيْن الخارجيين. وهكذا يكون متوقَّعًا

وجود قوة على اللوحين، تدفعهما، أحدهما تجاه الآخر. هذه القوة قد تم بالفعل الكشف عنها وبالقيمة التي توقعناها لها. وهكذا فإن لدينا أدلة تجريبية على وجود الجسيمات الافتراضية وأن لها تأثيرات حقيقية.

حقيقة أنه توجد فوتونات افتراضية بعدد أقل بين اللوحين، تعني أن كثافة طاقتهما ستكون أقل مما في أي مكان آخر. إلا أن الكثافة الكلية للطاقة في الفضاء «الخاوي» البعيد تمامًا عن اللوحين لا بد أن تكون صفرًا، لأنه بغير ذلك ستؤدِّي كثافة الطاقة إلى انبعاج المكان ولن يكون بعد مسطَّحًا على وجه التقريب. إذا كانت كثافة الطاقة بين اللوحين أقل من كثافة الطاقة على بُعد كبير، فإنها تكون بالتأكيد سلبية. هكذا فإن لدينا أدلة تجريبية على أن المكان - الزمان يمكن أن ينبعج (وهي أدلة من انحناء الضوء أثناء الكسوف) وأدلة أيضًا على أن المكان - الزمان يمكن أن ينحني بالطريقة اللازمة لأن تسمح بالسفر في الزمان (وهي أدلة تأثير كاسيمير). هكذا فإن لنا أن نأمل، إننا مع تقدمنا في العلم والتكنولوجيا، سوف نتمكن في النهاية من بناء آلة سفر في الزمان. ولكن إذا كان الأمر هكذا، لماذا لم يرجع أي فرد من المستقبل ليخبرنا عن طريقة فعل ذلك؟ قد تكون هناك أسباب قوية تجعل مما يفتقر إلى الحكمة إعطاءنا سر السفر في الزمان ونحن في حالتنا الراهنة من البدائية في النمو، على أنه ما لم يحدث تغيُّر جذري في الطبيعة البشرية، سيكون من الصعب

الاعتقاد بأن زائرًا من المستقبل لن يفشي السر. من الطبيعي أن بعض الأفراد سيزعمون أن مشاهدات الأطباق الطائرة فيها أدلة على أن هناك من يزورنا إما من كائنات أجنبية عن الأرض وإما من أفراد من المستقبل. (إذا كان للأجانب عن الأرض أن يصلوا إلى هنا في وقت معقول، فإنهم سيحتاجون إلى السفر بسرعة أكبر من سرعة الضوء، وبالتالي فإن الإمكانَيْن قد يكونان متساويَيْن). على أني أعتقد أن أي زيارة من أفراد أجانب عن الأرض أو من أفراد من المستقبل ستكون أكثر وضوحًا بكثير، وربما ستكون بدرجة مكروهة لأكثر كثيرًا. إذا كان لهؤلاء الأفراد أن يكشفوا بأي حال عن أنفسهم، لماذا يفعلون ذلك فقط بالنسبة لمن لا يُعتبَرون ممن يوثق بهم كشهود؟ إذا كانوا يحاولون إنذارنا بوجود خطر عظيم، فإنهم هكذا لن يكون لهم تأثير بالغ.

إحدى الطرق الممكنة لتفسير غياب الزائرين من المستقبل هي القول بأن الماضي ثابت، لأننا قد لاحظنا ورأينا أنه ليس فيه نوع الانبعاج اللازم لإتاحة السفر إلى الوراء من المستقبل. ومن الناحية الأخرى، فإن المستقبل غير معروف ومفتوح، وهكذا ربما يكون له الانحناء المطلوب تمامًا. سوف يعني هذا أن أي سفر في الزمان سيكون مقصورًا على المستقبل. لن تكون هناك فرصة لأن يظهر في الزمن الحالي القبطان كيرك والمركب الفضائي «الإنتربرايز».

قد يفسِّر هذا السبب في أنه لم يتدفَّق علينا بعدُ سيَّاح من

المستقبل، ولكنه لا يتفادى المشاكل التي تنشأ لو أننا استطعنا أن نعود إلى الوراء ونغيِّر التاريخ. لنفترض مثلًا أنك ذهبت إلى الوراء وقتلت جد جد جدك الأكبر وهو لا يزال طفلًا. هناك نسخ كثيرة من هذه المفارقة، ولكنها جوهريًا متساوية: سنحصل على متناقضات إذا أُتيحت للواحد منَّا حرية تغيير الماضي.

يبدو أن هناك حَلَّيْن محتملَيْن للمفارقات التي يطرحها السفر في الزمان. إحدى المفارقات سوف أسمِّيها **طريقة التواريخ المتماسكة**. وهي تقول إنه حتى إذا كان المكان - الزمان معوجًّا، بحيث يكون من الممكن السفر في الماضي، فإن ما يحدث في المكان - الزمان لا بد أن يكون حلًا متماسكًا من قوانين الفيزياء. لا يمكنك حسب هذا الرأي أن تسافر إلى الوراء في الزمان إلا إذا بيَّن التاريخ أنك قد وصلت من قبل في الماضي، وأنك أثناء وجودك هناك لا تقتل جد جد جدك الأكبر، أو لم ترتكب أي فعل آخر يتعارض مع موقفك الحالي في الحاضر. بالإضافة إلى ذلك، فإنك عندما تعود إلى الوراء بالفعل، لا تكون قادرًا على أن تغيِّر التاريخ المسجَّل. يعني هذا أنك لن تكون لديك حرية الإرادة لفعل ما تريد. يمكن للمرء طبعًا أن يقول إن الإرادة الحرة هي على أي حال وهم من الأوهام. إذا كانت هناك حقًا نظرية موحَّدة كاملة تحكم كل شيء، فإنها - في ما يفترض - تحتم أيضًا كل أفعالك. ولكنها تفعل ذلك بطريقة يستحيل حسابها لكائن حي يكون معقَّدًا مثل الإنسان. السبب في أننا نقول إن البشر لديهم

إرادة حرة هو أننا لا نستطيع التنبؤ بما سوف يفعلونه، على أي حال، إذا انطلق الإنسان في سفينة صاروخية وعاد قبل بدء رحلته، «سوف نكون» قادرين على التنبؤ بما سيفعله لأن ذلك سيكون جزءًا من التاريخ المسجَّل وهكذا فإنه في هذا الموقف لن يكون لدى مسافر الزمان إرادة حرة.

الطريقة الأخرى الممكنة لحل مفارقات السفر في الزمان يمكن أن تسمَّى فرضية التواريخ البديلة. الفكرة هنا هي أنه عندما يعود مسافرو الزمان إلى الماضي، فإنهم يدخلون في تواريخ بديلة تختلف عن التاريخ المسجَّل. هكذا فإنهم يستطيعون التصرف بحرية، من دون قيد من التماسك مع تاريخهم السابق. تمتع ستيفن سبيلبيرج بالتعامل مع هذه الفكرة في سلسلة أفلام «العودة إلى المستقبل»: استطاع مارتي ماك فلاي أن يعود إلى الوراء ويغيِّر من فترة التودّد بين والديه إلى تاريخ أكثر إرضاءً. فرضية التواريخ البديلة يبدو مشابهًا نوعًا ما لطريقة ريتشارد فيمان للتعبير عن نظرية الكم كحاصل جمع التواريخ التي وصفناها في الفصلين الرابع والثامن. تقول هذه الطريقة إن الكون ليس له تاريخ وحيد فحسب: الأحرى أن له أي تاريخ ممكن، وكل منها له احتماله الخاص. إلا أنه يبدو أن هناك اختلافًا مهمًا بين اقتراح فيمان والتواريخ البديلة. في حاصل جمع فيمان، يحوى كل تاريخ مكان - زمان كاملًا فيه كل شيء. قد يكون المكان - الزمان معوجًا للغاية بحيث يكون من الممكن السفر في صاروخ

إلى الماضي. ولكن الصاروخ سيبقى في المكان - الزمان نفسه، وبالتالي في التاريخ نفسه، الذي لا بد له من أن يكون متماسكًا. وهكذا، فإن افتراض حاصل جمع تواريخ فيمان يدعم في ما يبدو فرضية التواريخ المتماسكة بدلًا من التواريخ البديلة.

حاصل جمع تواريخ فيمان يسمح «بالفعل» بالسفر في الماضي بمقياس ميكروسكوبي. رأينا في الفصل التاسع أن قوانين العالم لا تتغيَّر بواسطة توليفات من عمليات سي وبي وتي، «C.P.T» يعني هذا أن الجسيم المضاد الذي يدور في اتجاه عكس عقارب الساعة ويتحرَّك من (أ) إلى (ب) يمكن أيضًا النظر إليه كجسيم عادي يدور في اتجاه الساعة ويتحرَّك إلى الوراء في الزمان من (ب) إلى (أ). بمثل ذلك، فإن الجسيم العادي عندما يتحرَّك إلى الأمام في الزمان يكون مرادفًا لجسيم مضاد يتحرَّك إلى الوراء في الزمان. كما ناقشنا في هذا الفصل وفي الفصل السابع، فإن الفراغ «الخاوي» مليء بأزواج من جسيمات افتراضية وجسيمات مضادة تظهر معًا، وتتحرَّك متباعدة، ثم تعود ثانية معًا ويُفني أحدها الآخر. هكذا يمكن للواحد منَّا أن يعتبر أن زوج الجسيمات هو جسيم واحد يتحرَّك فوق أنشوطة مغلقة في المكان - الزمان. عندما يتحرَّك الزوج إلى الأمام في الزمان (من الحدث الذي يظهر عنده إلى الحدث الذي يفنى عنده) فإنه يسمَّى جسيمًا. ولكن عندما ينتقل الجسيم إلى الوراء في الزمان (من الحدث الذي يفنى فيه الزوج إلى الحدث الذي يظهر عنده) فإنه يُقال عنه إنه جسيم مضاد يسافر إلى الأمام في الزمان.

تفسير الطريقة التي تستطيع بها الثقوب السوداء أن تبث جسيمات وإشعاعًا (كما ذكرنا في الفصل السابع) هو أن أحد عضوَيْ زوج افتراضي من جسيم ومضاد جسيم (أو لنقل إنه مضاد الجسيم) ربما يسقط داخل الثقب الأسود، تاركًا العضو الآخر من دون شريك يفنى معه. الشريك المهجور قد يهوي داخل الثقب كذلك، ولكنه أيضًا قد يهرب من مجاورة الثقب الأسود. إذا حدث ذلك فإن الملاحظ الذي يكون على مسافة سيظهر له ذلك على أنه جسيم يبثه الثقب الأسود.

إلا أن المرء يمكن أن تكون لديه صورة حدسية مختلفة، وإن كانت مرادفة، عن ميكانزم البث في الثقوب السوداء. يمكن للواحد منًّا أن يعتبر عضو الزوج الافتراضى الذي يقع في الثقب الأسود (وليكن مثلًا مضاد الجسيم) على أنه جسيم يسافر إلى الوراء في الزمان خارج الثقب. وعندما يصل إلى النقطة التي ظهر عندها مع الزوج الافتراضى من الجسيم/ مضاد الجسيم، فإنه يتبعثر بواسطة المجال الجذبوي إلى جسيم يسافر إلى الأمام في الزمان ويفر من الثقب الأسود. لو كان بدلًا من ذلك هو عضو الزوج الافتراضي الذي هوى إلى داخل الثقب، يمكن للمرء عندها أن يعتبر أنه جسيم مضاد يسافر إلى الوراء في الزمان، ويأتي خارجًا من الثقب الأسود. وهكذا فإن الإشعاع من الثقوب السوداء يبيِّن أن نظرية الكم تسمح بالسفر إلى الوراء في الزمان بالمقياس الميكروسكوبي وأن هذا السفر في الزمان يمكن أن تنتج عنه تأثيرات ملحوظة.

هكذا يستطيع الواحد منَّا أن يسأل هل تسمح نظرية الكم بالسفر في الزمان بمقياس ماكروسكوبي يستطيع الناس استخدامه؟ للوهلة الأولى، سيبدو أن هذا هو ما ينبغي أن يكون. افتراض فيمان حاصل جمع التواريخ يُفترض أنه موجود فوق «كل» التواريخ. وهكذا فإنه ينبغي أن يتضمَّن التواريخ التي يكون فيها المكان - الزمان بالغ الاعوجاج بحيث يكون من الممكن السفر في الماضي. لماذا إذن لا نعاني من المتاعب مع التاريخ؟ لنفترض مثلًا أن أحدهم قد ذهب إلى الوراء وأعطى للنازيين سر القنبلة الذرية؟

يستطيع المرء أن يتجنَّب هذه المشاكل إذا بقي صحيحًا ما سمَّيته حدس حماية الترتيب الزمني (الكرونولوجيا). يقول هذا الحدس إن قوانين الفيزياء تتآمر لمنع الأجسام الماكروسكوبية من حمل المعلومات إلى داخل الماضي. هذا الحدس، مثل حدس الرقابة الكونية، لم تتم البرهنة عليه ولكن هناك أسباب قوية للإيمان بأنه حقيقي.

السبب في الاعتقاد بأن حماية الترتيب الزمني تقوم بفعلها هو أنه عندما يكون المكان - الزمان معوجًّا بالدرجة الكافية لأن تجعل السفر في الماضي أمرًا ممكنًا، فإن الجسيمات الافتراضية التي تتحرَّك على أنشوطات مغلقة في المكان - الزمان تستطيع أن تصبح جسيمات حقيقية تسافر إلى الأمام في الزمان بسرعة الضوء أو بأقل منها. حيث إن هذه الجسيمات تستطيع أن تدور

حول الأنشوطة لأي عدد من المرات، فإنها تمر عبر كل نقطة في طريقها لمرَّات كثيرة. هكذا فإن طاقتها تُحسب ثانية المرة بعد الأخرى وتصبح كثافة الطاقة كبيرة جدًا. هذا قد يعطي المكان - الزمان انحناءً موجبًا لن يسمح بالسفر في الماضي. ليس من الواضح بعد ما إذا كانت هذه الجسيمات ستؤدِّي إلى انحناء إيجابي أو سلبي أو ما إذا كان الانحناء الذي ينتج عن بعض أنواع من الجسيمات الافتراضية ربما سيلغي ما تنتجه أنواع أخرى. هكذا فإن إمكانية السفر في الزمان تظل مفتوحة. ولكني لن أضع رهاني عليها. خصمي في الرهان قد تكون لديه ميزة غير منصفة بأنه يعرف المستقبل.

(11)

توحيد الفيزياء

كما سبق أن شرحت في الفصل الأول، من الصعب جدًا بناء نظرية كاملة موحَّدة لكل شيء في الكون دفعة واحدة. وهكذا، فإننا بدلًا من ذلك قد تقدَّمنا، بأن أوجدنا نظريات جزئية توصِّف مدى محدودًا من الأحداث، وبأن أهملنا عوامل التأثير الأخرى أو قرَّبناها لأرقام معينة. (الكيمياء مثلًا، تتيح لنا حساب تفاعلات الذرات، من دون أن نعرف البنية الداخلية لنواة الذرة). على أن المرء يأمل في النهاية، أن يجد نظرية كاملة متماسكة موحَّدة تتضمن كل هذه النظريات الجزئية كتقريبات، ولا تحتاج لأن تُعدَّل لتتواءم مع الحقائق بأن تُلتقَط في النظرية قيم أرقام معينة تعسفية. البحث عن نظرية كهذه يعرف بـ«توحيد الفيزياء». أنفق آينشتاين معظم سنواته الأخيرة وهو يبحث بلا نجاح عن نظرية موحَّدة، على أن الوقت لم يكن مواتيًا لذلك: فقد كانت هناك نظريات جزئية عن الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، ولكن لم يكن يُعرف إلا القليل عن القوى النووية. وفوق ذلك فإن آينشتاين كان يرفض الإيمان بحقيقة ميكانيكا الكم، رغم الدور المهم الذي

لعبه في إنشائها. على أنه يبدو أن مبدأ الريبة هو ملمح أساسي للكون الذي نعيش فيه. والنظرية الموحَّدة الناجحة يجب إذن أن تتضمَّن بالضرورة هذا المبدأ.

كما سأبيِّن، فإن توقعات العثور على هذه النظرية تبدو الآن أفضل كثيرًا لأننا نعرف عن الكون ما هو أكثر بكثير. على أننا ينبغي أن نحذر من الإفراط في الثقة، فقد ظهر لنا أكثر من فجر كاذب من قبل! ففي بداية هذا القرن مثلًا، كان من المعتقد أنه يمكن تفسير كل شيء بلغة من خواص المادة المستمرة، مثل المرونة وتوصيل الحرارة. على أن اكتشاف البنية الذرية، ومبدأ الريبة، وضع نهاية أكيدة لذلك. ومرة أخرى فإن الفيزيائي ماكس بورن الحائز على جائزة نوبل، ذكر في عام 1928 لمجموعة من الزائرين لجامعة جوتنجن أن «الفيزياء كما نعرفها، ستنتهي بعد ستة شهور». وكانت ثقته مؤسَّسة على اكتشاف ديراك الحديث للمعادلة التي تتحكَّم في الإلكترون، وكان من المعتقد أن ثمَّة معادلة مماثلة ستحكم البروتون، الذي كان الجسيم الآخر الوحيد المعروف وقتها، وأن هذا سيكون ختام الفيزيائيات النظرية. على أن اكتشاف النيوترون والقوى النووية أصاب هذه أيضًا في مقتل. وإذ أقول ذلك، فإنني ما زلت أؤمن بأن هناك أسسًا للتفاؤل الحذر بأننا قد نكون الآن قريبين من نهاية البحث عن القوانين النهائية للطبيعة.

وصفت في الفصول السابقة النسبية العامة، والنظرية الجزئية عن الجاذبية، والنظريات الجزئية التي تحكم القوى الضعيفة، والقوية، والكهرومغناطيسية. والقوى الثلاث الأخيرة يمكن

جمعها في ما يسمَّى النظريات الموحَّدة الكبرى grand unifies theories أو GUTs، وهي ليست جد مرضية لأنها لا تتضمَّن الجاذبية ولأنها تحوي عددًا من الكميات، مثل الكتل النسبية للجسيمات المختلفة، لا يمكن التنبؤ بها من النظرية ولكنها مما يلزم اختياره ليتلاءم مع المشاهدات. الصعوبة الرئيسية في إيجاد نظرية توحِّد الجاذبية مع القوى الأخرى هي أن النسبية العامة نظرية «كلاسيكية»؛ أي أنها لا تتضمَّن مبدأ الريبة لميكانيكا الكم. ومن الناحية الأخرى، فإن النظريات الجزئية الأخرى تعتمد على ميكانيكا الكم بصورة جوهرية. وإذن فإن الخطوة الأولى الضرورية، هي ضم النسبية العامة مع مبدأ الريبة. وكما رأينا، فإن هذا قد ينتج عنه بعض نتائج رائعة، مثل أن الثقوب السوداء لا تكون سوداء، وأن الكون ليست فيه أي متفرِّدات وإنما هو مكتف تمامًا بذاته وليس له حد. والمشكلة كما شُرحت في الفصل السابع، هي أن مبدأ الريبة يعني أنه حتى الفضاء «الخاوي» يمتلئ بأزواج من جسيمات ومضادات جسيمات تقديرية. وهذه الأزواج سيكون لها قدر لا متناهٍ من الطاقة، وبالتالي حسب معادلة آينشتاين المشهورة $E=mc^2$ فإنها سيكون لها قدر لا متناهٍ من الكتلة. وهكذا فإن شد جاذبيتها سيجعل الكون منحنيًا إلى حجم لا متناه في صغره.

يكاد يماثل ذلك، ما يبدو من وقوع لا متناهيات عبثية في النظريات الجزئية الأخرى، ولكن اللامتناهيات في كل هذه الأحوال يُمكن إلغاؤها بعملية تسمَّى إعادة التطبيع

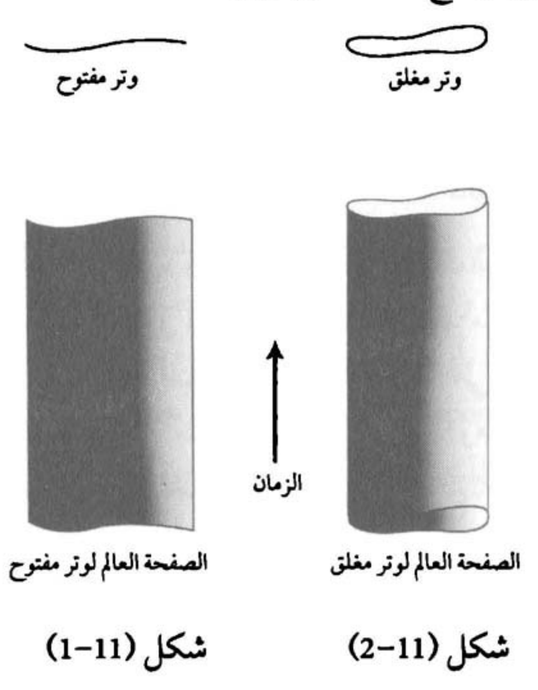
Renormaliztion. ويتضمَّن ذلك إلغاء اللامتناهيات بإدخال لا متناهيات أخرى. ورغم أن هذا التكنيك مشكوك فيه رياضيًا إلى حد ما، إلا أنه يبدو مما يصلح فعلًا في التطبيق، وقد استخدم مع هذه النظريات لصنع تنبؤات تتفق مع المشاهدات إلى حد دقيق على نحو خارق. على أن إعادة التطبيع لها عيب خطير من وجهة نظر محاولة إيجاد نظرية كاملة، لأنه يعني أن القيم الفعلية للكتل ولشدة القوى لا يمكن التنبؤ بها من النظرية، وإنما ينبغي اختيارها لتتواءم مع المشاهدات.

عند محاولة إدماج مبدأ الريبة في النسبية العامة، ستكون لدى المرء كميتان فقط يمكن تعديلهما: شدة الجاذبية، وقيمة الثابت الكوني. ولكن تعديل هاتَيْن لا يكفي لإزالة كل اللامتناهيات. وإذن فسيكون لدى المرء نظرية يبدو أنها تتنبَّأ بأن مقادير معينة، مثل منحنى المكان - الزمان، هي حقًا لا متناهية، إلا أن هذه المقادير يمكن بالمشاهدة والقياس أن تكون متناهية تمامًا! هذه المشكلة للجمع بين النسبية العامة ومبدأ الريبة قد ثار الشك بشأنها لفترة ما، ولكنها تأكدت نهائيًا بحسابات تفصيلية في عام 1972. تم بعدها بأربع سنوات، طرح حل محتمل يسمَّى الجاذبية الفائقة Supergtravity. والفكرة هي ضم جسيم لف 2، المسمى الجرافيتون، والذي يحمل قوة الجاذبية، مع جسيمات أخرى جديدة معينة من لف 3/ 2، و1، ونصف، وصفر. وبمعنى ما، فإن هذه الجسيمات كلها يمكن آنذاك النظر إليها كأوجه مختلفة لـ «الجسيم الفائق» نفسه وهكذا تتوحَّد جسيمات المادة من لف

1/ 2، و 3/ 2، مع جسيمات حمل القوة من لف صفر، وواحد، و2. أزواج الجسيم/ مضاد الجسيم التقديرية من لف 1/ 2، و3/ 2، ستكون ذات طاقة سالبة، وهكذا فإنها تنزع إلى إلغاء الطاقة الموجبة للأزواج التقديرية من لف 2، و1، وصفر. وسيسبِّب ذلك إلغاء الكثير من اللامتناهيات المحتملة، على أنه مما يُشك فيه أن بعض اللامتناهيات قد تظل باقية. على أن الحسابات المطلوبة لمعرفة ما إذا كان يوجد أو لا يوجد أي لا متناهيات باقية ولم تُلغَ، هي حسابات من الطول والصعوبة بحيث إن أحدًا لم يكن على استعداد للقيام بها. وحتى مع استخدام الكمبيوتر، فإن من المحقَّق أنها ستستغرق على الأقل أربعة أعوام، والاحتمالات كبيرة جدًا لأن يرتكب المرء خطأً واحدًا على الأقل، وربما أكثر. وهكذا فإن المرء لن يعرف أنه حصل على الإجابة الصحيحة إلا إذا أعاد شخص آخر الحساب وحصل على الإجابة نفسها، ولا يبدو هذا من الأمور الجد المحتملة!

رغم هذه المشاكل، ورغم حقيقة أن الجسيمات في نظريات الجاذبية الفائقة لا يبدو أنها تتفق مع ما يلاحظ من الجسيمات، فإن معظم العلماء قد آمنوا بأن الجاذبية الفائقة هي في ما يحتمل الإجابة الصحيحة عن مشكلة توحيد الفيزياء. وهي في ما يبدو أفضل طريقة لتوحيد الجاذبية مع القوى الأخرى. على أنه حدث تغيُّر ملحوظ في الرأي في عام 1984، في صف ما يسمَّى نظريات الوتر. والأشياء الأساسية في هذه النظريات ليست الجسيمات، التي تشغل نقطة واحدة في المكان، وإنما هي أشياء لها طول وليس لها

أي بعد آخر، مثل قطعة وتر رفيع إلى ما لا نهاية له. وهذه الأوتار قد تكون ذات طرفَيْن (ما يسمَّى الأوتار المفتوحة) أو قد تكون متصلة بذاتها في حلقات مغلقة (الأوتار المغلقة) شكل (11-1) وشكل (11-2). الجسيم يشغل نقطة واحدة من المكان عند كل لحظة من الزمان وهكذا فإن تاريخه يمكن تمثيله بخط في المكان – الزمان (الخط- العالم). الوتر من الناحية الأخرى، يشغل خطًا في المكان عند كل لحظة من الزمان. وهكذا فإن تاريخه في المكان – الزمان هو مسطح من بُعْدَيْن يسمى الصفحة – العالم. (أي نقطة على هذه الصفحة – العالم يمكن وصفها برقمَيْن: أحدهما يعيّن الزمان والآخر يعيّن موضع النقطة على الوتر.



الصفحة العالم لوتر مفتوح

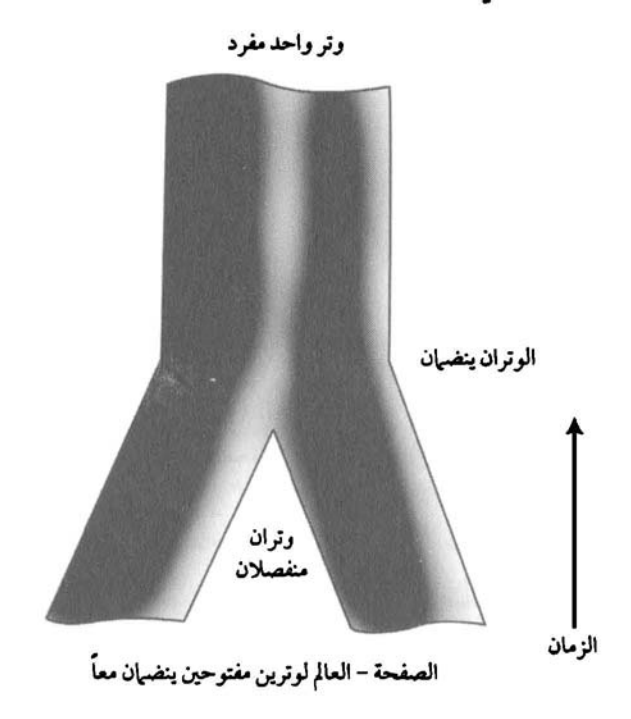
الصفحة العالم لوتر مغلق

شكل (11-1)

شكل (11-2)

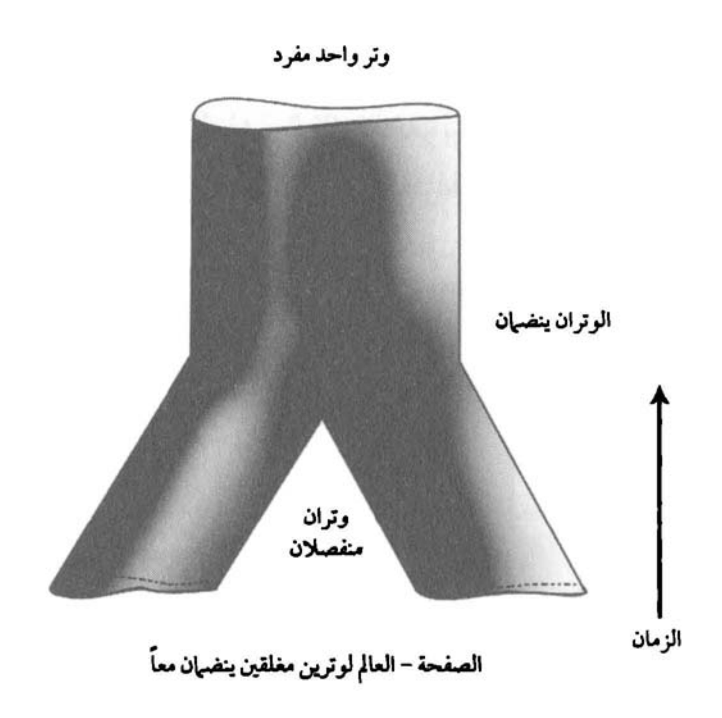
الصفحة - العالم للوتر المفتوح هي شريط؛ وأحرفه تمثل مسارات طرفَيْ الوتر خلال المكان - الزمان شكل (11-1). والصفحة - العالم للوتر المغلق هي أسطوانة أو أنبوبة شكل (11-2)؛ والشريحة التي تقطع من خلال الأنبوبة هي دائرة، تمثل موضع الوتر عند زمن معين واحد.

يمكن لقطعتين من الأوتار أن تنضَمّا معًا لتشكلا وترًا واحدًا؛ وفي حالة الأوتار المفتوحة فإنها تنضم ببساطة عند أطرافها شكل (11-3)، بينما في حالة الأوتار المغلفة فإن الأمر يشبه ساقَين



شكل (11-3)

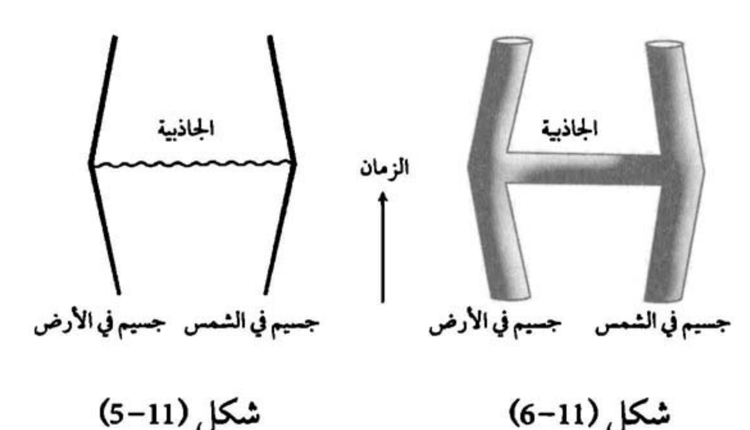
ينضمان كما في ساقَي السروال (البنطلون) شكل (11-4). وبالمثل فإن قطعة وتر واحدة قد تنقسم إلى وتَرَيْن. وفي نظريات الأوتار، فإن ما كان يظن سابقًا أنه جسيمات يصور الآن كموجات



شكل (11-4)

تنتقل عبر الوتر، كما تنتقل الموجات على الخيط المتذبذب للعبة الطائرة الورقية. انبعاث أو امتصاص جسيم بواسطة جسيم آخر يقابله انقسام أو انضمام الأوتار معًا. وكمثال، فإن قوة جاذبية

الشمس على الأرض قد صُوِّرت في نظريات الجسيم على أنها تتسبَّب عن انبعاث جرافيتون من جسيم في الشمس وامتصاصه بجسيم في الأرض شكل (11-5). وفي نظرية الوتر، تناظر هذه العملية أنبوبة أو ماسورة على شكل حرف H شكل (11-6) (نظرية الوتر تشبه السبَاكة إلى حدٍّ ما). والجانبان الرأسيان لحرف H يناظران الجسيمات في الشمس والأرض والقاطع الأفقي يناظر الجرافيتون الذي ينتقل بينهما.



شكل (11-6) شكل (11-5)

ولنظرية الوتر تاريخ عجيب. فقد ابتكرت أصلًا في أواخر ستينيات القرن العشرين في محاولة لإيجاد نظرية توصِّف القوة القوية. وكانت الفكرة هي أن الجسيمات مثل البروتون والنيوترون يمكن النظر إليها كموجات على وتر. والقوى القوية بين هذه الجسيمات تناظر قطع الوتر التي تمتد بين أجزاء أخرى من الوتر، كما في نسيج العنكبوت. وحتى تعطي هذه النظريات

قيمة المشاهدة القوية بين الجسيمات، فإن الأوتار ينبغي أن تكون مثل أربطة مطاطية لها قوة شد تقرب من عشرة أطنان.

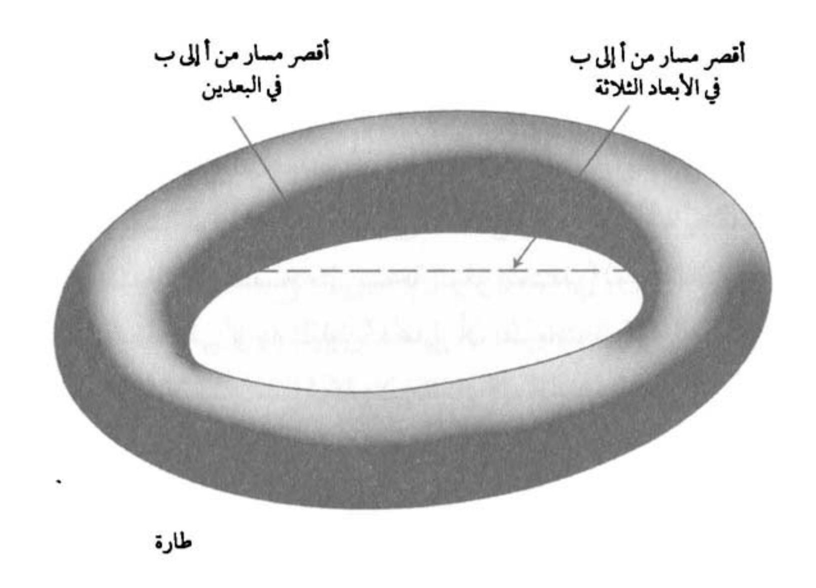
في عام 1974 نشر جويل شيرك من باريس، وجول شوارتز من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، ورقة بحث بيَّنا فيها أن نظرية الوتر يمكن أن تصف قوة الجاذبية، ولكن على أن يكون توتر الوتر أعلى كثيرًا جدًا، أي بما يقرب من ألف مليون مليون مليون مليون مليون مليون طِن (واحد يعقبه تسعة وثلاثون صفرًا). وتنبؤات نظرية الوتر تكون مماثلة بالضبط لتنبؤات النسبية العامة، في ما يتعلَّق بالمقاييس الطولية الطبيعية، ولكنها تختلف عند الأبعاد الصغيرة جدًا، التي تقل عن جزء من ألف مليون مليون مليون مليون مليون جزء من السنتيمتر (سنتيمتر مقسوم على واحد يعقبه ثلاثة وثلاثون صفرًا). على أن بحثهما لم يقابَل باهتمام كبير، لأن معظم الناس في ذلك الوقت بالضبط كانوا قد نبذوا نظرية الوتر الأصلية عن القوى القوية ليحبِّذوا نظرية تتأسَّس على الكواركات والجلونات، بدا أنها تتلاءم مع المشاهدات تلاؤمًا أفضل كثيرًا. مات شيرك في ظروف مأساوية (كان يعاني من السكري، وقد راح في غيبوبة من دون أن يكون هناك أحد بجواره ليحقنه بالأنسولين). وهكذا خُلِّف شوارتز وحيدًا، وهو يكاد يكون المؤيد الوحيد لنظرية الوتر، إلا أنها الآن قد افتُرِض لها قيمة توتر للوتر أعلى كثيرًا.

في عام 1984 عاد فجأة إلى الحياة الاهتمام بالأوتار، ويبدو أن ذلك حدث لسببين. أحدهما، أن الناس لم يصلوا حقًا إلى

الكثير من التقدم من ناحية إيضاح أن الجاذبية الفائقة متناهية أو أنها يمكن أن تفسِّر أنواع الجسيمات التي نلاحظها. والآخر، ما تم من نشر ورقة بحث لجون شوارتز ومايك جرين من كلية الملكة ماري بلندن، تبيِّن أن نظرية الوتر قد تستطيع ان تفسِّر وجود جزئيات هي بطبيعتها عسراء، مثل بعض الجسيمات التي نلاحظها. وأيًا كانت الأسباب، فسرعان ما بدأ عدد كبير من الناس في العمل على نظرية الوتر وتم إنشاء نسخة جديدة، هي ما يسمَّى الوتر المتنامي Heterotic التي بدت وكأنها قد تستطيع تفسير أنواع الجسيمات التي نلاحظها.

نظريات الوتر تؤدي أيضًا إلى اللامتناهيات، على أنه يُعتقد أنها كلها ستُلغى في النسخ مثل نسخة الوتر المتنامي (وإن كان هذا لم يُعرف بعد على وجه اليقين). على أن نظريات الوتر، لها مشكلة أكبر: فهي لا تبدو متماسكة إلا إذا كان للمكان - الزمان إما عشرة أبعاد أو ستة وعشرون بعدًا، بدلًا من الأبعاد الأربعة المعتادة! وبالطبع، فإن الأبعاد الإضافية للمكان - الزمان هي أمر شائع في الرواية العلمية؛ والحقيقة أنها تكاد تكون ضرورية، وإلا فإن حقيقة أن النسبية تدل على عدم استطاعة المرء على الانتقال بأسرع من الضوء ستعني أن الانتقال بين النجوم والمجرات سيستغرق زمنًا أطول كثيرًا مما ينبغي. والفكرة في الرواية العلمية هي أنه ربما سيمكن للمرء أن يتخذ طريقًا مختصرًا من خلال بُعد أعلى. ويمكن للمرء أن يصوِّر ذلك بالطريقة التالية: تخيَّل أن الفضاء الذي نعيش فيه له فقط بعدَيْن وأنه منحنٍ مثل سطح حلقة مرساة

أو طارة شكل (11-7) ولو كنت عند جانب من الحرف الداخلي من الحلقة وأردت أن تصل إلى نقطة على الجانب الآخر، سيكون عليك أن تدور ملتفًا على الحرف الداخلي للحلقة. على أنه لو كان في استطاعتك أن تنتقل في البعد الثالث فإنك تستطيع أن تعبر طريقك مباشرة.



شكل (11-7)

لماذا لا نلحظ كل هذه الأبعاد الإضافية، لو كانت موجودة حقًا؟ لماذا لا نرى فعلًا إلا ثلاثة أبعاد للمكان وبعدًا واحدًا للزمان؟ يُقترح لذلك أن الأبعاد الأخرى هي منحنية إلى داخل حيّز صغير الحجم جدًا، شيء من مثل جزء من مليون مليون

مليون مليون مليون جزء من البوصة. وهذا يبلغ من صغره أننا لا نلحظه؛ فنحن لا نرى إلا بعدًا واحدًا للزمان وثلاثة أبعاد للمكان، يكون المكان – الزمان فيها مسطَّحًا إلى حدٍّ ما. والأمر يشبه سطح برتقالة: لو نظرت إليه عن قرب شديد، فستراه مليئًا

بالانحناءات والتجعدات، ولكن لو نظرت إليه من مسافة أكبر، فإنك لن ترى الانحناءات وسيبدو لك مستويًا. والأمر كذلك مع المكان – الزمان: فعلى المقياس الصغير جدًا تكون له عشرة أبعاد ويكون مقوَّسًا جدًا، أمَّا على المقاييس الأكبر فلن ترى الانحناء ولا الأبعاد الإضافية. وإذا كانت هذه الصورة صحيحة، فإنها تنم عن أنباء سيئة لمن سوف يسافرون في الفضاء: فإن الأبعاد الإضافية ستكون من الصغر بما لا يسمح بمرور سفينة فضاء من خلالها. على أنها أيضًا تثير مشكلة رئيسية أخرى. فلماذا ينبغي أن بعض الأبعاد، وليست كلها، هي التي تنعقص إلى كرة صغيرة؟ ومن الممكن – في ما يفترض – أن الأبعاد في الكون المبكر جدًا كانت كلها منحنية جدًا. فلماذا انبسط بعد واحد للزمان وثلاثة أبعاد للمكان، بينما ظلَّت الأبعاد الأخرى تنعقص معًا في إحكام؟

إحدى الإجابات المحتملة عن ذلك هي المبدأ الإنساني. وأن يكون للمكان بعدان لا يبدو أن فيه الكفاية لإتاحة تنشئة كائنات معقَّدة مثلنا. وكمثال، فإن حيوانات من بعدين تعيش على أرض ذات بعد واحد سيكون عليها أن يتسلَّق أحدها الآخر حتى يتجاوز بعضها بعضًا. ولو أكل كائن ذو بعدين شيئًا، فإنه لن يتمكَّن من

هضمه هضمًا كاملًا، فسيكون عليه أن يخرج الفضلات من الطريق نفسه الذي ابتلع الطعام منه، لأنه لو كان ثمَّة مسار من خلال جسده كله، فإنه سيقسم الكائن إلى نصفين منفصلين؛ وهكذا



حيوان ذو بعدين

شكل (11–8)

فإن كائننا ذا البعدين سيتمزَّق. شكل (11–8). وبالمثل، فإن من الصعب أن نرى كيف يمكن أن تكون هناك أي دورة للدم في كائن ذي بعدين.

ستكون هناك مشاكل أيضًا لو كان هناك أكثر من ثلاثة أبعاد للمكان. فسوف تقل قوة الجاذبية مع بعد المسافة بين جسيمين بأسرع مما يحدث مع الأبعاد الثلاثة. (في الأبعاد الثلاثة تقل

قوة الجاذبية للربع عندما تتضاعف المسافة. وفي الأبعاد الأربعة فإنها ستقل للثمن، وفي الأبعاد الخمسة فإنها ستقل إلى 1 على 16، وهلم جرا). ومغزى هذا هو أن مدارات الكواكب، مثل مدار الأرض، حول الشمس ستكون غير مستقرة: وإذا حدثت أقل قلقلة عن المدار الدائري (كما قد ينتج عن شد الجاذبية من الكواكب الأخرى) سينجم عنها أن تتحرَّك الأرض لولبيًا بعيدًا عن الشمس أو إلى داخلها. وسيصيبنا إما التجمُّد أو الاحتراق. والحقيقة، أن سلوك الجاذبية نفسه مع المسافة في أكثر من ثلاثة أبعاد يعني أن الشمس لن تتمكَّن من أن توجد في حالة مستقرة مع الضغط الموازن للجاذبية. فهي إما أن تتشظّى أو أنها ستتقلَّص لتشكل ثقبًا أسود. في كلتي الحالتين، لن يكون لها فائدة كثيرة كمصدر للحرارة والضوء من أجل الحياة على الأرض. وعلى نطاق أصغر، فإن القوى الكهربائية التي تسبِّب دوران الإلكترون حول النواة في الذرة ستسلك على نحو مماثل لقوى الجاذبية. وهكذا فإن الإلكترونات إما أن تهرب بالكلية من الذرة أو أنها ستتحرَّك لولبيًا إلى داخل النواة. وفي كلتا الحالتين لا يمكن للمرء أن يجد الذرات كما نعرفها.

وإذن، فإنه يبدو واضحًا أن الحياة، على الأقل كما نعرفها، يمكن أن توجد فقط في مناطق المكان – الزمان التي يكون فيها البُعد الواحد للزمان والأبعاد الثلاثة للمكان غير ملتفَّة curled up إلى حجم صغير. وسيعني هذا أن المرء يمكنه أن يلجأ للمبدأ

الإنساني الضعيف، بشرط أن يتمكن المرء من إظهار أن نظرية الوتر هي على الأقل مما يسمح فعلًا بوجود مناطق كهذه من الكون - ويبدو أن نظرية الوتر تفعل ذلك حقًا. وقد تكون هناك أيضًا مناطق أخرى من الكون، أو أكوان أخرى (أيًا كان معنى «ذلك»)، حيث كل الأبعاد ملتفَّة إلى حجم صغير أو حيث تكون ثمَّة أبعاد أكثر من أبعاد أربعة مسطَّحة تقريبًا، ولكن لن تكون هناك كائنات ذكية في مناطق كهذه لتلاحظ الأعداد المختلفة من الأبعاد الفعلية.

وبعيدًا عن مسألة عدد الأبعاد التي يبدو أن المكان - الزمان يحوزها، فإن نظرية الوتر يظل فيها مشاكل أخرى يجب حلها قبل إمكان المناداة بها كالنظرية النهائية الموحَّدة للفيزياء. نحن لا نعرف بعدُ ما إذا كانت كل اللامتناهيات تلغي إحداها الأخرى فعلًا، أو ما هي بالضبط الطريقة التي تتعلَّق بها الموجات التي على الوتر بالأنواع المعينة للجسيمات التي نلاحظها. ومع هذا، فإن من المحتمل أنه سيتم العثور على الإجابات عن هذه الأسئلة خلال السنوات القليلة القادمة، وأنه بنهاية القرن سوف نعرف ما إذا كانت نظرية الوتر هي حقًا ما طال البحث عنه كنظرية موحَّدة للفيزياء.

ولكن هل يمكن حقًا أن توجد مثل هذه النظرية الموحَّدة؟ أو لعلنا نطارد سرابًا فحسب؟ يبدو أن هناك احتمالات ثلاثة:

1- أن هناك حقًا نظرية موحَّدة كاملة، سوف نكتشفها يومًا ما لو كنَّا على قدرٍ كافٍ من الحذق.

2- أنه لا توجد نظرية نهائية للكون، وإنما فقط تتالٍ لا متناهٍ من النظريات التي توصِّف الكون بدقة أكبر وأكبر.

3- ليست هناك نظرية للكون؛ والأحداث لا يمكن التنبؤ بها بما يتجاوز مدى معينًا وإنما هي تحدث بطريقة عشوائية واعتباطية.

سيوافق البعض على الاحتمال الثالث على أساس أنه إذا كانت هناك مجموعة كاملة من القوانين، فإن هذا يتعارض مع حرية الرب في تغيير تفكيره والتدخل في العالم. الأمر يشبه نوعًا ما المفارقة القديمة: هل يستطيع الرب صنع صخرة بالغة الثقل حتى أنه لا يستطيع رفعها؟ على أن فكرة أن الرب قد يرغب في تغيير تفكيره هي مثال للمغالطة التي أوضحها القديس أوغسطين عن تخيل أن الرب موجود في الزمان: الزمان خاصية فقط للكون الذي خلقه الرب. من المفروض أنه كان يعرف ما يقصده عندما أنشأه!

مع تقدم الميكانيكا، وصلنا إلى تبيُّن أن الأحداث هي مما لا يمكن التنبؤ به بدقة كاملة، وإنما هناك دائمًا درجة من الريبة. وإذا أحب المرء، فإنه يستطيع أن يرجع هذه العشوائية إلى تدخل الرب، ولكن هذا سيكون نوعًا غريبًا جدًا من التدخل: فلا يوجد برهان على أنه موجَّه لأي هدف. الحقيقة أنه لو كان له هدف فإنه - حسب التعريف - لن يكون عشوائيًا. في الأزمنة الحديثة قد تخلصنا فعلًا من الاحتمال الثالث أعلاه، وذلك بإعادة تحديد هدف العلم: فهدفنا هو أن نصوغ مجموعة من القوانين تمكننا من التنبُّؤ بالأحداث وذلك فقط في نطاق الحد الذي يفرضه مبدأ الريبة.

والاحتمال الثاني، أن هناك تتاليًا لا متناهيًا من نظريات تُنقّح أكثر وأكثر، يتفق مع كل خبرتنا حتى الآن. فنحن في مناسبات كثيرة قد زدنا من حساسية قياساتنا أو قمنا بعمل فئة جديدة من المشاهدات، لنكتشف ظواهر جديدة لم تكن مما تتنبأ به النظرية الموجودة، وحتى نفسِّر تلك الظواهر يكون علينا أن ننشئ نظرية أكثر تقدّمًا. وإذن فلن يكون مما يدهش كثيرًا أن يكون الجيل الحالي من النظريات الموحَّدة الكبرى على خطأ في ادّعاء أنه لن يحدث شيء جديد جوهري ما بين الطاقة الموحَّدة الضعيفة كهربيًا التي تبلغ ما يقرب من 100 جي في، والطاقة الموحَّدة الكبرى التي تبلغ ما يقرب من ألف مليون مليون جي في. ويمكننا في الحقيقة أن نتوقَّع أننا سوف نجد طبقات عديدة جديدة من البنية تكون أساسية بأكثر من الكواركات والإلكترونات التي نعتبرها الآن الجسيمات «الأولية».

على أنه يبدو أن الجاذبية قد تضع حدًا لهذا التتالي من «صناديق داخل الصناديق». فلو كان عند المرء جسيم له طاقة أعلى مما يسمَّى طاقة بلانك، أي عشرة مليون مليون مليون جي في (واحد يتبعه تسعة عشر صفرًا)، فإن كتلته ستكون من التركيز بحيث إنه سيفصل نفسه عن سائر الكون ويشكِّل ثقبًا أسود صغيرًا. وهكذا فإنه يبدو فعلًا أن تتالي النظريات المنقَّحة أكثر وأكثر لا بد أن له حدًا ما إذ نذهب إلى الطاقات الأعلى والأعلى، بحيث إنه لا بد من وجود نظرية ما نهائية عن الكون. وبالطبع، فإن طاقة بلانك

بعيدة جدًا عن الطاقات التي تبلغ نحو مائة جي في، وهي أقصى ما يمكننا إنتاجه في المعمل في الوقت الحالي. ومعجلات الجسيمات لن تعبر بنا هذه الثغرة في المستقبل المنظور! على أن المراحل المبكِّرة جدًا للكون، هي النطاق الذي - بالتأكيد - وقعت فيه طاقات كهذه، وأعتقد أن ثمَّة فرصة جيدة لأن تؤدي بنا دراسة الكون المبكِّر ومتطلبات التماسك الرياضي إلى نظرية موحَّدة كاملة خلال حياة بعض منَّا ممن يعيشون حاليًا، مع افتراضنا دائمًا أننا أولًا لن نفجِّر أنفسنا.

ماذا يعني الأمر لو أننا اكتشفنا فعلًا النظرية النهائية للكون؟ كما شرحنا في الفصل الأول، لن يكون في إمكاننا قط التأكد تمامًا من أننا قد عثرنا حقًا على النظرية الصحيحة، لأن النظريات لا يمكن البرهنة عليها. ولكن إذا كانت النظرية متماسكة رياضيًا وتعطي دائمًا تنبؤات تتفق مع المشاهدات، فإننا يمكننا أن نثق إلى حد معقول في أنها النظرية الصحيحة. وهي بذلك سوف تنهي فصلًا طويلًا مجيدًا في تاريخ نضال البشرية الفكري لفهم الكون. ولكنها أيضًا سوف تثوِّر فهم الشخص العادي للقوانين التي تحكم الكون. في زمن نيوتن كان من الممكن لشخص متعلِّم أن يصل إلى استيعاب كل المعرفة البشرية، على الأقل من حيث الخطوط الخارجية. أما فيما بعد ذاك فإن سرعة نمو العلم قد جعلت من هذا أمرًا مستحيلًا. ولما كانت النظريات تُغيَّر دائمًا لتفسير المشاهدات الجديدة، فإنها لا تُهضم أو تبسَّط قط على النحو الصحيح، بحيث يستطيع الناس العاديون فهمها. فينبغي

أن تكون متخصِّصًا، وحتى عندها، لن تستطيع أن تأمل في أن تستوعب استيعابًا صحيحًا إلا نسبة صغيرة من النظريات العلمية. وفوق ذلك، فإن معدَّل التقدم يبلغ من سرعته أن ما يتعلمه المرء في المدرسة أو الجامعة يكون دائمًا قد ولَّى زمنه بعض الشيء. ولا يستطيع إلا قلة من الناس أن يلاحقوا جبهة المعرفة التي تتقدَّم سريعًا، ويكون عليهم أن يكرِّسوا كل وقتهم لها وأن يتخصَّصوا في مجال ضيق. سائر الناس ليست لديهم إلا فكرة صغيرة عن أوجه التقدم التي تُصنع أو الإثارة التي تولِّدها. منذ سبعين عامًا، إذا كان من الممكن تصديق إدنجتون، لم يكن يفهم نظرية النسبية العامة إلا فردان. وفي أيامنا هذه فإن عشرات الآلاف من خريجي الجامعة يفهمونها، وثمَّة ملايين كثيرة من الناس هم على الأقل على دراية بالفكرة. لو تم اكتشاف نظرية موحَّدة كاملة، فسيكون الأمر مسألة وقت فقط حتى يتم هضمها وتبسيطها بالطريقة نفسها لتُعلَّم في المدارس، على الأقل بخطوطها الخارجية. وسوف نتمكن جميعًا وقتها من أن يكون لنا بعض فهم للقوانين التي تحكم الكون والتي هي مسؤولة عن وجودنا.

وحتى لو اكتشفنا نظرية موحَّدة كاملة، فإن ذلك لن يعني أننا سوف نستطيع التنبؤ بالأحداث عامة، وذلك لسببين: الأول، هو القيد الذي يفرضه مبدأ الريبة في ميكانيكا الكم على قدرتنا على التنبؤ. وما من شيء يمكننا فعله لتفادي ذلك. على أنه عند التطبيق، يكون هذا القيد الأول أقل تقييدًا من القيد الثاني. والثاني ينشأ عن حقيقة أننا لا نستطيع حل معادلات النظرية على نحو مضبوط، إلا

في المواقف البسيطة جدًا. (إننا لا نستطيع حتى أن نحل - بشكل مضبوط - حركة ثلاثة أجسام في نظرية نيوتن للجاذبية، وتتزايد الصعوبة مع تزايد عدد الأجسام وتركب النظرية). نحن نعرف بالفعل القوانين التي تحكم سلوك المادة تحت كل الظروف إلا أقصاها تطرُّفًا. نحن نعرف بالذات القوانين الأساسية التي تشكِّل الكيمياء والبيولوجيا بالكامل. على أننا بكل تأكيد لم نختزل هذين الموضوعين إلى حال من مشاكل محلولة؛ وحتى الآن فإننا لم نصِب إلا نجاحًا قليلًا في التنبُّؤ بالسلوك الإنساني من معادلات رياضية! وإذن فحتى لو وجدنا بالفعل مجموعة كاملة من القوانين الأساسية، فسوف تظل باقية أمامنا في السنوات القادمة مهمّة تتحدَّى الذكاء وهي إنشاء مناهج أفضل للتقريب، بحيث نستطيع تقديم تنبؤات مفيدة عن النتائج المحتملة في المواقف المعقَّدة والواقعية. فالنظرية الموحَّدة المتماسكة الكاملة ليست إلا الخطوة الأولى: فهدفنا هو «الفهم» الكامل للأحداث من حولنا، وفهم وجودنا نفسه.

ختـام

إننا نجد أنفسنا في عالم محيِّر. ونحن نريد أن نجعل ما نراه من حولنا شيئًا معقولًا ونسأل: ما طبيعة الكون؟ ما مكاننا فيه ومن أين أتينا، نحن والكون؟ لماذا يكون كما هو عليه؟

حتى نحاول الإجابة عن هذه الأسئلة فإننا نتخذ «صورة ما للعالم». وكما أن برجًا لا متناهيًا من السلاحف التي تسند الأرض المسطَّحة هو إحدى صور العالم هذه، فإن نظرية الأوتار الفائقة هي مثل ذلك تمامًا. فكلاهما نظرية عن الكون، وإن كانت الأخيرة رياضية ودقيقة بدرجة أكبر كثيرًا من الأولى. وكلتا النظريتين ينقصهما دليل من المشاهدة: فلم يرَ أحد قط سلحفاة ضخمة والأرض على ظهرها، إلا أن أحدًا كذلك لم يرَ أيضًا وترًا فائقًا. على أن نظرية السلحفاة تفشل في أن تكون نظرية علمية جيدة لأنها تتنبَّأ بأن الناس ينبغي لهم أن يقعوا من على حرف العالم. وهذا أمر لم يجد أحد أنه يتفق مع الخبرة، إلا إذا ثبت في النهاية أن هذا تفسير لغموض اختفاء الأفراد في مثلث برمودا!

أقدم المحاولات النظرية لتوصيف وتفسير الكون كانت

تتضمَّن فكرة أن الأحداث، والظواهر الطبيعية، تحكمها أرواح ذات عواطف بشرية تتصرَّف على نحو مشابه جدًا للبشر، ولا يمكن التنبُّؤ به. وكانت هذه الأرواح تسكن في الأشياء الطبيعية، مثل الأنهار والجبال، بما في ذلك الأجرام السماوية مثل الشمس والقمر. وكان ينبغي استرضاؤها والتماس عطاياها لضمان خصوبة التربة ودوران الفصول. على أنه تدريجيًا، تمّت - بالضرورة - ملاحظة أن ثمَّة أوجه انتظام معينة: فالشمس دائمًا تبزغ من الشرق وتأفل في الغرب، سواء قُدِّمت الأضحية لإله الشمس أم لم تقدَّم. وفوق ذلك، فإن الشمس والقمر والكواكب تتبع مسارات محدَّدة عبر السماء يمكن التنبؤ بها مقدَّمًا بدقة لها اعتبارها. وربما ظلَّت الشمس والقمر كآلهة، ولكنها آلهة تخضع لقوانين صارمة، من الواضح أنها ليس لها أي استثناءات، إذا أسقط المرء من حسابه الحكايات مثل الشمس التي توقَّفت في السماء من أجل يوشع.

في أول الأمر، اتضحت أوجه الانتظام والقوانين هذه في علم الفلك وحده وفي مواقف أخرى معدودة. على أنه مع نمو الحضارة، وبالذات في الأعوام الثلاثمائة الأخيرة، تم اكتشاف المزيد والمزيد من القوانين وأوجه الانتظام. أدّى نجاح هذه القوانين إلى أن يفترض لابلاس في أول القرن التاسع عشر الحتمية العلمية، أي أنه اقترح أن ثمَّة مجموعة من القوانين تحدِّد تطوُّر الكون بدقة، إذ أعطي شكله في وقت معين.

وحتمية لابلاس كانت منقوصة من وجهين. فهي لم تبيِّن لنا كيف ينبغي اختيار القوانين، ولم تحدِّد الشكل الابتدائي للكون. ترك هذان الأمـران للرب. الرب سيختار طريقة بدء الكون والقوانين التي تخضع لها، ولكنه بمجرَّد بدء الكون لن يتدخَّل فيه. في الواقع أن فعل الرب يكون هكذا محدَّدًا بالمجالات التي لم يفهمها علم القرن التاسع عشر.

نحن نعرف الآن أن آمـال لابـلاس في الحتمية لا يمكن تحقيقها، على الأقل بالشروط التي كانت في ذهنه. فمبدأ الريبة لميكانيكا الكم يدل على أن ثنائيات معيَّنة من الكميات، مثل موضع وسرعة الجسم، لا يمكن التنبؤ بها معًا بدقّة كاملة.

وميكانيكا الكم تتناول هذا الموقف عن طريق فئه من نظريات الكم؛ حيث الجسيمات فيها لا يكون لها أوضاع وسرعات محدَّدة بدقة وإنما هي تُمثَّل بموجة. ونظريات الكم هذه حتمية بمعنى أنها تعطي قوانين تطوُّر الموجة بمرور الوقت. وهكذا إذا عرف المرء الموجة عند زمن بعينه، فإنه يستطيع أن يحسبها عند أي زمن آخر. العنصر العشوائي الذي لا يقبل التنبُّؤ يتدخَّل فقط عندما نحاول تفسير الموجة بحدود من مواضع وسرعات الجسيمات. ولكن لعل هذا هو خطأنا: فربما لا يكون ثمَّة مواضع ولا سرعات للجسيمات، وإنما هناك موجات فقط. والأمر فحسب أننا نحاول أن نلائم الموجات مع أفكارنا المسبقة عن المواضع والسرعات. وعدم التوافق الناجم هو سبب ما يظهر من عدم إمكان التنبؤ.

والواقع، أننا قد أعدنا تحديد مهمة العلم لتصبح اكتشاف القوانين التي تمكننا من التنبؤ بالأحداث في الحدود التي يفرضها مبدأ الريبة. على أن السؤال يظل باقيًا: كيف أو لماذا تم اختيار قوانين الكون وحالته الابتدائية؟

لقد أعطيت في هذا الكتاب اهتمامًا خاصًا للقوانين التي تحكم الجاذبية، لأن الجاذبية هي التي تشكِّل بنية الكون بالمقياس الكبير، حتى وإن كانت أضعف أصناف القوى الأربع. وقوانين الجاذبية كانت لا تتوافق والنظرة المستمسك بها حتى فترة قريبة جدًا من أن الكون لا يتغيَّر من حيث الزمان، وحقيقة أن الجاذبية تجذب دائمًا تدل على أن الكون لا بد إما أنه يتمدَّد أو ينكمش. وحسب نظرية النسبية العامة، لا بد أنه كان هناك في الماضي حالة من كثافة لا متناهية، الانفجار الكبير، الذي يكون بداية فعّالة للزمان؛ وبالمثل، فلو أن الكون كله تقلص ثانية، فإنه لا بد من أن توجد في المستقبل حالة أخرى من كثافة لا متناهية، الانسحاق الكبير، الذي يكون نهاية الزمان. وحتى لو لم يحدث أن يتقلَّص الكون ثانية، فستكون ثمَّة متفرِّدات في أي مناطق محلية تتقلَّص لتكوِّن ثقوبًا سوداء. هذه المتفرِّدات ستكون نهاية الزمان لكل ما يقع في الثقب الأسود. وكل القوانين تحطَّمت عند الانفجار الكبير والمتفرِّدات الأخرى، وهكذا فإن الرب ستظل لديه الحرية الكاملة لاختيار ما حدث ولطريقة بدء الكون.

عندما نجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة يظهر لنا احتمال جديد لم ينشأ من قبل: إن المكان والزمان معًا قد يشكِّلان مكانًا متناهيًا ذا أربعة أبعاد، ليست له متفرِّدات ولا حدود، فهو مثل سطح الأرض إلا أن له أبعادًا أكثر. ويبدو أن هذه الفكرة يمكن أن تفسِّر الكثير من الملامح الملاحظة في الكون، مثل الاتساق على المقياس الكبير، وأيضًا ما يحدث على المقياس الأصغر من أوجه ابتعاد عن التجانس، كالمجرات مثلًا أو النجوم، بل والكائنات البشرية. بل إنها أيضًا يمكن أن تفسِّر سهم الزمان الذي نلاحظه. ولكن إذا كان الكون مكتفيًا تمامًا بذاته، من دون متفرِّدات ومن دون حدود، ويوصف بالكامل بنظرية موحَّدة، فإن هذا تكون له تضمينات عميقة عن دور خالق ما.

سأل آينشتاين ذات مرة سؤالًا: «ما مدى ما عند الخالق من خيار في بناء الكون؟». إذا كان افتراض اللاحدية صحيحًا، لن يكون للخالق أي حرية مطلقًا في اختيار الظروف الابتدائية. سيظل لديه بالطبع حرية اختيار القوانين التي يخضع لها الكون. على أن هذا قد لا يكون فيه في الحقيقة الكثير من الاختيار؛ قد تكون هناك فقط نظرية موحَّدة واحدة، أو عدد قليل من النظريات الموحَّدة الكاملة، مثل نظرية الوتر المتنامي، وتكون هذه النظريات متماسكة بذاتها وتسمح بوجود بنيانات معقَّدة مثل البشر الذين يستطيعون بحث أمر قوانين الكون والتساؤل عن طبيعة الخالق.

وحتى لو لم يكن من المحتمل إلا نظرية موحَّدة واحدة، فإنها مجرَّد مجموعة من القواعد والمعادلات. ما الذي ينفث النيران داخل المعادلات ويجعل لها كونًا توصِّفه؟ إن التناول العلمي المعتاد، عن طريق بناء نموذج رياضي، لا يستطيع الإجابة عن الأسئلة المتعلقة بالسبب في أنه ينبغي أن يوجد كون يوصِّفه النموذج. ما الذي يجعل الكون يكابد مشقة وجوده؟ هل النظرية الموحَّدة تفرض نفسها بقوة حتى إنها تجلب وجودها هي نفسها؟ أو أنها تحتاج لخالق، وإذا كان الأمر هكذا، هل لهذا الخالق أي تأثير آخر في الكون؟ ومن الذي خلقه؟

حتى الآن فإن معظم العلماء كانوا مشغولين جدًا بإنشاء نظريات جديدة توصِّف «ما الكون»، بحيث لم يسألوا «لماذا». وعلى الجانب الآخر، فإن الأفراد الذين كانت مهمتهم أن يسألوا «لماذا»، أي الفلاسفة، لم يتمكنوا من ملاحقة تقدم النظريات العلمية. في القرن الثامن عشر، كان الفلاسفة يعتبرون أن كل المعرفة البشرية، بما فيها العلم، هي مجالهم. فناقشوا أسئلة مثل: هل كان للكون بداية؟ على أن العلم في القرنين التاسع عشر والعشرين أصبح على درجة متقدمة تقنيًا ورياضيًا بالنسبة للفلاسفة أو لأي فرد آخر، في ما عدا قلة من المتخصِّصين. واختزل الفلاسفة مجال أبحاثهم إلى حد أن قال فيتجنشتين، أشهر فيلسوف في هذا القرن: «المهمة الوحيدة التي بقيت للفلسفة هي

تحليل اللغة». يا لانحدار الحال بعد التراث العظيم للفلسفة من أرسطو حتى كانط!

وعلى كلٍّ، لو اكتشفنا فعلًا نظرية كاملة، فإنه ينبغي بمرور الوقت أن تكون قابلة لأن يفهمها كل فرد بالمعنى الواسع، وليس فقط مجرَّد علماء معدودين. وعندها فإننا كلنا، فلاسفة وعلماء وأناسًا عاديين، سنتمكن من المساهمة في مناقشة السؤال عن السبب في وجودنا، نحن والكون. لو وجدنا الإجابة عن ذلك، فسيكون في ذلك الانتصار النهائي للعقل البشري، لأننا وقتها سنعرف فكر الخالق.



ألبرت آينشتاين

من الأمور المعروفة أن آينشتاين كان على صلة بسياسات القنبلة الذَرّية، فقد وقّع الخطاب المشهور إلى الرئيس فرانكلين روزفلت والذي يحث الولايات المتحدة على تناول الفكرة تناولًا جديًا، كما أنه اشترك في جهود ما بعد الحرب لمنع الحرب النووية. على أن هذه لم تكن مجرد تصرفات معزولة لعالم جُرَّ إلى عالم السياسة. فالحقيقة أن حياة آينشتاين باستخدام كلماته هو نفسه، كانت «مقسَّمة بين السياسة والمعادلات».

أول نشاطات آينشتاين السياسية كانت أثناء الحرب العالمية الأولى، عندما كان أستاذًا في برلين. وإذ أصابه السَقَم مما رآه من إهدار لحياة البشر، فإنه اشترك في التظاهرات ضد الحرب. وكان من اتّباعه للعصيان المدني، وتشجيعه العلني لأن يرفض الناس الالتحاق بالجيش، ما جعله غير محبوب من زملائه. ثم إنه وجَّه جهوده بعد الحرب إلى توفيق وتحسين العلاقات الدولية. وهذا أيضًا لم يجعله محببًا، وسرعان ما جعلت نشاطاته السياسية من زيارته للولايات المتحدة أمرًا صعبًا، حتى ولو لإلقاء المحاضرات.

القضية الكبرى الثانية لآينشتاين كانت الصهيونية. ورغم أنه كان ينحدر من أصول يهودية، إلا أنه كان يرفض الفكرة التوراتية عن الرب. على أن تزايد الانتباه إلى معاداة السامية قبل وأثناء الحرب العالمية الأولى معًا، أدى به تدريجيًا إلى الاندماج مع المجتمع اليهودي، وإلى أن يصبح في ما بعد مناصرًا صريحًا للصهيونية. ومرة أخرى فإن

فقدان الشعبية لم يمنعه من المجاهرة برأيه. وأصبحت نظرياته موضعًا للهجوم؛ بل لقد أُنشئ تنظيم لمعاداة آينشتاين. أدين أحد الرجال بتحريض آخرين على قتل آينشتاين (وغُرِّم ستة دولارات فحسب). على أن آينشتاين ظلّ رابط الجأش. وعندما نُشر كتاب عنوانه «مائة مؤلِّف ضد آينشتاين»، كان رده الحاسم هو، «لو أنني كنت على خطأ، لكان مؤلِّف واحد يكفي!».

في عام 1933 استحوذ هتلر على السلطة. وكان آينشتاين في أمريكا، فأعلن أنه لن يعود لألمانيا. وبينما كانت المليشيا النازية بعدها تغير على منزله وتجمِّد حسابه في البنك، نشرت إحدى صحف برلين عنوانًا رئيسيًا يقول «أنباء طيِّبة من آينشتاين: إنه لن يعود». وفي مواجهة التهديد النازي، نبذ آينشتاين المبادئ السلمية، وإذ خشيَ أن يبني العلماء الألمان القنبلة النووية فإنه في النهاية اقترح أنه ينبغي أن تصنع الولايات المتحدة قنبلتها. ولكنه حتى قبل تفجير أول قنبلة ذرية، أخذ يحذِّر علنًا من مخاطر الحرب النووية مقترحًا سيطرة دولية على السلاح النووي.

ولعل جهود آينشتاين للسلام أثناء حياته، لم تنجز إلا قليلًا مما سيُكتب له البقاء، ومن المؤكَّد أنها لم تكسبه إلا القليل من الأصدقاء. على أن دعمه الصريح للقضية الصهيونية قد أُقرَّ به في عام 1952 على نحو واضح، إذ عُرضت عليه رئاسة إسرائيل. ورفض المنصب، وهو يقول إنه يعتقد أنه في السياسة ساذج أكثر مما ينبغي. ولعل السبب الحقيقي في رفضه كان مختلفًا، وبالاستشهاد به ثانية فإن «المعادلات أكثر أهمية بالنسبة لي، لأن السياسة تختص بالوقت الحالي. أما المعادلة فشيء يختص بالخلود».

* * *

جاليليو جاليلي

لعل جاليليو، أكثر من أي شخص آخر، هو المسؤول عن ميلاد العلم الحديث. وخلافه المشهور مع الكنيسة الكاثوليكية كان أمرًا محوريًا بالنسبة لفلسفته، ذلك أن جاليليو كان من أول من حاججوا بأن الإنسان في وسعه أن يأمل أن يصل إلى فهم لطريقة عمل العالم، وفوق ذلك فإننا نستطيع القيام بذلك بملاحظة العالم الواقعي.

آمن جاليليو بنظرية كوبرنيكوس (بأن الكواكب تدور حول الشمس) منذ زمن مبكِّر، ولكنه لم يبدأ في مناصرتها علنًا إلا عندما وجد الدليل اللازم لدعم الفكرة. وقد كتب عن نظرية كوبرنيكوس بالإيطالية (وليس باللاتينية الأكاديمية المعتادة)، وسرعان ما انتشر التأييد لأفكاره خارج الجامعات. وقد أزعج هذا الأساتذة الأرسطيين، فاتّحدوا ضده وهم يلتمسون حضَّ الكنيسة الكاثوليكية على حظر النظرية الكوبرنيكية.

وإذ أثار هذا قلق جاليليو، فإنه سافر إلى روما ليتحدَّث إلى السلطات الإكليريكية. واحتجّ بأن الإنجيل لم يُقصد به أن يخبرنا بأي شيء عن النظريات العلمية، وأنه من المعتاد - عندما يختلف الإنجيل مع الحس المشترك - افتراض أن تعبير الإنجيل مجازي. على أن الكنيسة كانت تخشى وقوع فضيحة تقوِّض حربها ضد البروتستانتية، وهكذا فإنها اتخذت إجراءات قمعية. وأعلنت في عام 1616 أن الكوبرنيكية «زائفة وخاطئة» وأمرت جاليليو ألا يعود قط إلى «الدفاع عن المذهب أو المناداة به». وأذعن جاليليو.

وفي عام 1623 أصبح البابا أحد أصدقاء جاليليو لزمن طويل. وعلى الفور حاول جاليليو إلغاء مرسوم عام 1616. وقد فشل في ذلك، إلا أنه تمكَّن بالفعل من الحصول على تصريح بوضع كتاب يناقش كلتَيْ النظريتين الأرسطية والكوبرنيكية وذلك بشرطين: ألا ينحاز لأي جانب، وأن يصل إلى استنتاج أن الإنسان لا يستطيع بأي حال أن يحدِّد كيف يعمل العالم لأن الرب يستطيع أن يأتي بالنتائج نفسها بطرق لا يتخيّلها الإنسان، الذي لا يستطيع أن يضع قيودًا على القدرة الإلهية الكلية.

وهذا الكتاب، «حوار بشأن النظامين الأساسيين للعالم» اكتمل ونشر في عام 1632، بدعم كامل من الرقباء - وقد رُحِّب به في أوربا كلها كمؤلَّف فذّ في الأدب والفلسفة. وسرعان ما تبيَّن البابا أن الناس يلتمسون الكتاب كمحاججة مقنعة في صف الكوبرنيكية، فندم على السماح بنشره. واحتجّ البابا بأنه رغم أن الكتاب قد حاز موافقة الرقباء رسميًا، إلا أن جاليليو قد انتهك مرسوم عام 1616. وأتى بجاليليو أمام محكمة التفتيش، التي حكمت عليه بتحديد إقامته في منزله طيلة حياته، وأمرته بأن ينكر علانية النظرية الكوبرنيكية. وللمرة الثانية أذعن جاليليو.

ظل جاليليو كاثوليكيًا مخلصًا، ولكن إيمانه باستقلال العلم لم ينسحق. وقبل أن يموت بأربعة أعوام في عام 1642، وهو ما زال رهن الاعتقال بالمنزل، هُرِّبت مخطوطة كتابه الرئيسي الثاني إلى ناشر هولندي. وهذا المؤلَّف الذي يُشار إليه باسم «عِلْمَان جديدان» كان منشأ الفيزياء الحديثة بما هو أكثر من تأييده لكوبرنيكوس.

* * *

إسحق نيوتن

لم يكن إسحق نيوتن بالشخص اللطيف. وعلاقاته مع الأكاديميين الآخرين مشهور أمرها، وكانت معظم سنوات حياته الأخيرة مشوَّشة بانشغالها في خلافات مشتعلة. وعقب نشر كتابه «مبادئ الرياضيات» - وهو بالتأكيد أكثر الكتب على الإطلاق تأثيرًا في ما كُتب في الفيزياء - ازداد سريعًا ما له من شهرة عامة. وعُيِّن رئيسًا للجمعية الملكية وأصبح أول عالم، على الإطلاق، يُرسَّم فارسًا.

سرعان ما اصطدم نيوتن مع جون فلامستد عالم الفلك بالمرصد الملكي، الذي سبق أن أمدّ نيوتن بالكثير من المعطيات اللازمة لكتاب «المبادئ»، ولكنه بعدها أخذ يحجب المعلومات التي يريدها نيوتن. لم يكن نيوتن بالذي يقبل الرد بالنفي؛ فسعى حتى عُيِّن في الهيئة التي تدير المرصد الملكي ثم حاول فرض نشر المعطيات فورًا. ورتَّب في النهاية عملية الاستحواذ على عمل فلامستد وإعداده للنشر على يد عدوه اللدود إدموند هالي. على أن فلامستد ذهب بقضيته إلى المحكمة، وفي اللحظة الحاسمة، نال أمرًا قضائيًا يحظر نشر عمله المسروق. وثار سخط نيوتن، وسعى للانتقام بأن محا بانتظام كل إشارة لفلامستد في الطبعات اللاحقة من «المبادئ».

نشأ نزاع أكثر خطورة مع الفيلسوف الألماني جوتفريد ليبنتز. وكان كل من نيوتن وليبنتز قد أنشأ على حدة فرعًا من الرياضيات يسمَّى التفاضل والتكامل هو في الأساس من معظم الفيزياء الحديثة. ورغم أننا نعرف الآن أن نيوتن قد اكتشف حساب التفاضل قبل

ليبنتز بسنوات، إلا أنه نشر بحثه بعدها بكثير. ونشأ شجار كبير حول من يكون الرائد، بينما دافع العلماء دفاعًا عنيفًا عن كل من الطرفَيْن المتنافسَيْن. على أن من الجدير بالملاحظة، أن معظم المقالات التي ظهرت دفاعًا عن نيوتن كُتبت أصلًا بيده هو نفسه، ونُشرت فحسب باسم أصدقائه! ومع تنامي الشجار، ارتكب ليبنتز غلطة الالتجاء إلى الجمعية الملكية لحل النزاع. وعَيَّن نيوتن، بصفته رئيسًا، لجنة «محايدة» للاستقصاء، صادف أن تكوَّنت بالكامل من أصدقاء نيوتن! ولم يكن هذا كل شيء، فبعد تقرير اللجنة، وجعل الجمعية الملكية تنشره، كتب نيوتن بنفسه متهمًا ليبنتز رسميًا بالانتحال. ولم يكفه هذا، فقام بكتابة عرض للتقرير، من دون توقيع، في دورية الجمعية الملكية ذاتها. وبعد موت ليبنتز، نُقِل عن نيوتن إعلانه ارتياحه التام من أنه «قد سحق قلب ليبنتز».

أثناء الفترة التي انقضت في هذين النزاعين، كان نيوتن قد ترك بالفعل كمبردج والأكاديمية. وكان لنيوتن نشاطه في السياسة ضد الكاثوليكية في كمبردج، ولاحقًا في البرلمان، وكوفئ في النهاية بمنصب مجزٍ هو محافظ دار السك الملكية. وقد استخدم هنا مواهبه في المراوغة والنقد اللاذع على نحو أكثر قبولًا اجتماعيًا، فقاد بنجاح حملة كبرى ضد التزييف، بل وأرسل العديد من الرجال إلى حتفهم على المشانق.

* * *

معجم إنجليزي عربي

A
– Absolute zero:
الصفر المطلق: أقل درجة حرارة ممكنة، حيث المادة لا تحوي طاقة حرارية.
–Acceleration:
التسارع (عجلة السرعة): المعدل الذي تتغير به سرعة الشيء.
–Anthropic principle:
المبدأ الإنساني: نحن نرى الكون بما هو عليه لأنه لو كان مختلفًا، لما كنا هنا لنرقبه.
–Antiparitcle:
مضاد الجسيم: كل نوع من جسيمات المادة له مضاد جسيم مناظر له. وعندما يصطدم جسيم بمضاده، فإنهما يفنيان، ولا تتخلف إلا الطاقة .
–Atom:
الذَرّة: الوحدة الأساسية للمادة العادية، وتتكون من نواة دقيقة (تتألف من البروتونات والنيوترونات) محاطة بإلكترونات تدور من حولها.
B

-Big bang:
الانفجار الكبير: المتفرِّدة التي عند بدء الكون.
-Big crunch:
الانسحاق الكبير: المتفرِّدة التي عند نهاية الكون.
-Black hole:
الثقب الأسود: منطقة في المكان - الزمان لا يستطيع أي شيء أن يهرب منها، ولا حتى الضوء لأن الجاذبية عدها قوية جدًا.

C
-Chandrasekhar limit:
حد شاندراسيخار: أقصى كتلة ممكنة لنجم بارد مستقر، وإذا زادت على ذلك فإن النجم يجب أن يتقلص إلى ثقب أسود.
- Conservation of energy:
حفظ الطاقة: القانون العلمي الذي يقرر أن الطاقة (أو ما يكافئها من كتلة) لا يمكن أن تُستحدث أو تُفنى.
-Coordinates:
الإحداثيات: الأرقام التي تعيّن موضع نقطة في المكان والزمان.
-Cosmological constant:
الثابت الكوني: وسيلة رياضية استخدامها آينشتاين ليضفي على المكان - الزمان نزعة جبلية للتمدد.

-Cosmolgy:
علم الكونيات: دراسة الكون ككل.
E
-Electric charge:
الشحنة الكهربائية: خاصة للجسيم يمكن له بواسطتها أن يتنافر (أو يتجاذب) مع الجسيمات الأخرى التي لها شحنة بعلامة مماثلة (أو مضادة).
-Electromagnetic force:
القوة الكهرومغناطيسية: القوة التي تنشأ بين الجسيمات ذات الشحنة الكهربائية، وهي ثاني أقوى قوة من القوى الأساسية الأربع.

-Electron:
الإلكترون: جسيم له شحنة كهربائية سالبة ويدور حول نواة الذرة.
-Electroweak unification energy:
الطاقة الموحَّدة ضعيفة الكهربية: طاقة (من نحو 100 جي في) لو تم تجاوزها لأعلى يختفي التمييز بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة.
-Elementary particle:
جسيم أوَّلي: جسيم يعتقد أنه لا يمكن انقسامه لما هو أصغر.
-Event:
حدث: نقطة في المكان - الزمان تتعين بزمانها ومكانها.

-Event horizon:
أفق الحدث: حد الثقب الأسود.
-Exclusion principle:
مبدأ الاستبعاد: لا يمكن لجسيمين متماثلين من لف 1/ 2 أن يكون لهما معًا (في الحدود التي يفرضها مبدأ الريبة) نفس الموضع ونفس السرعة.
F
-Field:
مجال: شيء يوجد خلال المكان والزمان، وذلك في مقابل الجسيم الذي لايوجد إلا عند نقطة واحدة في الوقت الواحد.
-Frequency:
تردد: بالنسبة للموجة، عدد الدورات الكاملة في كل ثانية.
G
-Gamma ray:
إشعاع جامّا: موجات كهرومغناطيسية طولها قصير جدًا، تنتج عن التحلل الإشعاعي أو عن اصطدامات بين الجسيمات الأولية.

-General relativity:
النسبية العامة: نظرية آينشتاين المؤسسة على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة، بصرف النظر عن كيفية تحركهم. وهي تفسر قوة الجاذبية بحدود من انحناء المكان - الزمان ذي الأبعاد الأربعة.

-Geodesic:
جيوديسي: أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين.
-Grand unification energy: الطاقة الموحَّدة الكبرى: الطاقة التي يعتقد أنه عند تجاوزها لأعلى تصبح القوة الكهرومغناطيسية، والقوى الضعيفة، والقوة القوية مما لا يمكن تمييزها إحداها عن الأخرى.
-(Grand unified theory GUT): النظرية الموحَّدة الكبرى: نظرية توحد القوى الكهرومغناطيسية، والقوية، والضعيفة.
I
-Imaginary time: الزمان التخيّلي: زمان يقاس باستخدام الأرقام التخيلية.
L
-Light cone: مخروط الضوء: سطح في المكان - الزمان يحدد الاتجاهات المحتملة لأشعة الضوء التي تمر من خلال حدث معين.
-(Light-second)light - year : ثانية ضوئية (سنة ضوئية): المسافة التي يتحركها الضوء في ثانية (سنة) واحدة.

M
- Magnetic field : **المجال المغناطيسي**: المجال المسئول عن القوى المغناطيسية، والذي يُدمج الآن هو والمجال الكهربائي في المجال الكهرومغنطي.
- Mass **الكتلة**: كمية المادة في جسم ما؛ أو قصوره الذاتي، أو مقاومته للتسارع.
- Microwave background radiation : **إشعاع الخلفية الميكروويفية**: إشعاع من توهج الكون المبكر الساخن، ينزاح الآن إزاحة حمراء كبيرة، بحيث يبدو لا كضوء، وإنما كموجات ميكروويف (موجات راديو طول الموجة منها سنتيمترات معدودة).
N
- Naked singularity : **متفرِّدة عارية**: متفرِّدة المكان – الزمان التي لا يحيط بها ثقب أسود.
- Neutrino: **نيوترينو**: جسيم أوَّلي للمادة خفيف للغاية (بلا كتلة فيما يحتمل) لا يتأثر إلا بالقوة الضعيفة والجاذبية.
- Neutron **نيوترون**: جسيم بلا شحنة، مشابه جدًا للبروتون، ومسؤول عما يقارب نصف جسيمات النواة في أغلب الذرات.

- Neutron star:
نجم النيوترون: نجم بارد، يقوم على التنافر بين النيوترونات حسب مبدأ الاستبعاد.
- No boundary condition :
شرط اللاحدية: فكرة أن الكون متناهٍ ولكنه بلا حد (في الزمان التخيلي).
- Nucleat fusion:
الاندماج النووى: العملية التي تصطدم فيها نواتان وتلتحمان لتكونا نواة واحدة أثقل.
- Nucleus :
النواة: الجزء المركزى للذرة، ويتكون فقط من البروتونات والنيوترونات، التي تتماسك معًا بالقوة القوية.
P
- Particle accelerator:
معجل الجسيمات: ماكينة تستطيع باستخدام المغناطيسات الكهربائية أن تعجل الجسيمات المشحونة المتحركة، معطية إياها طاقة أكثر.
- Phase:
طور: بالنسبة للموجة، هو وضع في دورتها عند وقت معين: مقياس يقيس ما إذا كانت عند الذروة، أو القرار، أو عند نقطة ما فيما بينهما.
- Photon :
فوتون: كمة ضوء

- Planck›s quantum principle :
مبدأ الكم لبلانك: فكرة أن الضوء (أو أي موجات أخرى كلاسيكية) لا يمكن أن يُبعث أو يُمتص إلا في كمات منفصلة، تكون طاقتها متناسبة مع ذبذبتها.
- Positron:
بوزيترون: مضاد الجسيم للإلكترون (موجب الشحنة).
- Primordial black hole:
ثقب أسود بدائي: ثقب أسود يتم خلقه في الكون المبكر جدًا.

-Proportional :
متناسب: «س تتناسب مع ص» يعني أنه عندما تُضرب ص في أي رقم، فإن س تضرب أيضًا كذلك. «س تتناسب عكسيًا مع ص» يعني أنه عندما تضرب ص في رقم، تقسم س على هذا الرقم.
-Proton:
بروتون: جسيمات ذات شحنة موجبة تكوّن بالتقريب نصف جسيمات النواة في معظم الذرات.
Q
-Quantum:
الكمة: وحدة لا تنقسم هي التي يمكن أن تُبعث بها الموجات أو تمتص.
-Quantum mechanics:
ميكانيكا الكم: النظرية التي نشأت عن مبدأ الكم لبلانك ومبدأ الريبة لهايزنبرج.

-Quark :
كوارك: جسيم أوَّلي (مشحون) يحس بالقوى الكبرى. البروتونات والنيوترونات يتكون كل منهما من ثلاثة كواركات.
R
-Radar :
رادار: نظام يستخدم نبضات موجات الراديو للكشف عن موضع الأشياء بقياس الزمن الذي تستغرقه النبضة الواحدة حتى تصل إلى الشيء ثم تنعكس ثانية.
-Radioactivity:
نشاط إشعاعى: التحلل التلقائي لأحد أنواع النوى الذرية إلى نوع آخر.
-Red shift:
الإزاحة الحمراء: احمرار الضوء من أحد النجوم التي تتحرك بعيدًا عنا، ويرجع إلى ظاهرة دوبلر.
S
-Singularity :
متفرِّدة: نقطة في المكان - الزمان يصبح انحناء المكان - الزمان عندها لا متناهٍ.
-Singularity theorem :
مبرهنة المتفرِّدة: مبرهنة تبين أن المتفرِّدة لا بد أن توجد في ظروف معينة - وبالذرات، أن الكون بدأ لا بد بمتفرِّدة.

-Space-time : المكان – الزمان: المكان ذو الأبعاد الأربعة ونقاطه هي الأحداث (جمع حدث).
-Spatial dimension: البعد المكاني: أي بعد من الأبعاد الثلاثة للمكان – الزمان التي هي شبه مكانية – بمعنى، أي بعد عدا بعد الزمان.
-Specal relativity: النسبية الخاصة: نظرية آينشتاين التي تتأسس على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة ممن يتحركون حركة حرة، بصرف النظر عن سرعتهم.
-Spectrum: الطيف: الانشطار، مثلا، في موجة كهرومغناطيسية إلى الترددات المكوِّنة لها.
-Spin : لف، برم، (دوران لولبي): خَاصَّة داخلية للجسيمات الأولية تُنسب إلى مفهوم اللف في الحياة اليومية، وإن كانت لا تتطابق معه.
-Stationary state : حالة مستقرة، حالة ثابتة: حالة لا تتغير بالزمان: الكرة التي تلف بمعدل ثابت هي مستقرة لأنها تبدو متماثلة عند أي لحظة، حتى وإن كانت غير ساكنة (استاتيكية).

-Srong force :
القوة القوية: أقوى قوة من القوى الأربع الأساسية، وأقصرها كلها في المدى. وهي تمسك الكواركات معًا من داخل البروتونات والنيوترونات، وتمسك البروتونات والنيوترونات معًا لتكوّن الذرات.
U
-Uncertainty principle:
مبدأ الريبة: لا يمكن قط أن يتأكد المرء بالضبط من كلٍ من موقع الجسيم وسرعته معا؛ وكلما عرف واحدا منها بدقة أكبر. قلّت دقة ما يستطيع المرء أن يعرفه عن الآخر.
V
-Virtual particle :
جسيم تقديري: في ميكانيكا الكم، جسيم لا يمكن أبدا الكشف عنه مباشرة ولكن وجوده له بالفعل تأثيرات قابلة للقياس.
W
-Wave /particle duality :
أزدواجية (او ثنائية) الموجة/ الجسيم: مفهوم في ميكانيكا الكم بأنه ليس ثمَّة تمييز بين الموجات والجسيمات؛ فالجسيمات قد تسلك أحيانا مثل الموجات، والموجات مثل الجسيمات.
-Wavelength :
طول الموجة: بالنسبة للموجة، هو المسافة بين قرارين متجاورين أو ذروتين متجاورتين.

-Weak force :
القوة الضعيفة: ثاني أضعف قوة من القوى الأربع الأساسية، ومداها قصير جدًا. وهي تؤثر في كل جسيمات المادة، ولكنها لا تؤثر في الجسيمات حاملة الطاقة (القوة).
-Weight:
الوزن: القوة التي يمارسها مجال الجاذبية على أحد الأجسام. وهي تتناسب مع كتلته ولكنها ليست مماثلة لها.
-White dwarf :
القزم الأبيض: نجم بارد مستقر، يقوم على التنافر بين الإلكترونات حسب مبدأ الاستبعاد.

الفهرس

ستيفن هوكينج

تاريخ موجز للزمان

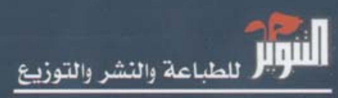
رحلة، شيقة وممتعة معًا، يقوم بها البروفسور ستيفن هوكينج (أستاذ الرياضيات الذي يشغل الكرسي نفسه الذي كان يشغله نيوتن في كمبردج) عبر دروب غامضة في الزمان والكون وطبيعتهما، والحركة والفضاء والكواكب والنجوم والمَجَرّات.

ومع كُل الصعوبات التي تعترض كل باحث في هذه المجالات، ورغم المرض العضال الذي ألمَّ به، والذي ربطه بكرسي ذي عجلات، وجعله غير قادر حتى على الإمساك بالقلم.. فإن ستيفن هوكينج استطاع أن يقدم في كتابه هذا إجابات متماسكة عن أسئلة مهمة وأساسية حَيَّرت وما زالت تحيّر العلماء، فضلًا عن القرّاء والمهتمّين.

هل للكون حدود؟ هل يمكن للكون أن ينكمش بدلًا من أن يتمدَّد؟ هل يرتدّ الزمان فيرى البشر موتهم قبل ميلادهم؟ هل للكون بداية و/ أو نهاية.. الخ.

إن إجابات المؤلف، المتعمِّقة والبسيطة في آنٍ، جعلت هذا الكتاب يلقى إقبالًا منقطع النظير، وجعله يتربّع على قائمة أعلى المبيعات لفترة لم يحتلها كتاب من قبله، كما تُرجم إلى أربعين لغة.


ISBN 978-9938-886-72-6



تونس - بيروت - القاهرة